



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA DO AMBIENTE**

# **Caracterização de Combustíveis Derivados de Resíduos Obtidos a Partir de Resíduos Industriais Não Perigosos**

**SOFIA CRISTINA DE OLIVEIRA PATRÍCIO DA SILVA PINTO**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção  
do grau de Mestre em Gestão Integrada e Valorização de  
Resíduos, ramo Valorização de Resíduos

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria da Graça Martinho

**Lisboa  
2009**



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar os meus agradecimentos vão para a equipa do CITRI, que tornaram possível este projecto, em particular o Eng. Mário Santos, a Madalena e o Nuno, sem os quais não seria possível concretizar este estudo.

Não poderei também deixar de agradecer à Prof<sup>a</sup>. Doutora Graça Martinho pela prontidão em ajudar, orientar e rever a minha dissertação contribuindo desta forma para a melhoria do seu conteúdo, na forma e na apresentação.

Aos meus pais, pela disponibilidade e pelo apoio incondicional em todas as ocasiões.

Ao Vítor e ao Afonso por fazerem parte da minha vida.



# SUMÁRIO

Numa década em que Portugal tem vindo a efectuar uma aposta clara nas energias renováveis, com vista a adquirir uma maior independência energética, os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) surgem como uma via a explorar. A sua utilização terá de ser avaliada sob duas perspectivas, a obtenção de um combustível alternativo e, simultaneamente, a evolução na pirâmide da hierarquia da gestão integrada dos resíduos, minimizando a sua deposição em aterro.

Como objectivos gerais desta dissertação destacam-se a caracterização físico-química de Combustível Derivado de Resíduos produzido a partir de resíduos industriais não perigosos e o estudo da influência da alteração da linha de produção na qualidade do produto final. Assim, o estudo aqui apresentado permite acrescentar algum conhecimento sobre a composição e características da fracção de maior poder calorífico presente nos resíduos industriais não perigosos. Para alcançar este objectivo realizaram-se duas campanhas de recolha de amostras e respectiva caracterização do poder calorífico inferior (PCI), da humidade, do cloro e de metais pesados, de acordo com normas internacionais. As campanhas foram separadas por aproximadamente um ano ao qual corresponderam linhas produtivas distintas. Em paralelo caracterizou-se o teor em biomassa e em carbono biogénico no CDR e nos Finos de modo a permitir, a futuros utilizadores, encararem estes combustíveis como contendo fracções de fontes de carbono de origem não fóssil e deste modo não serem tributáveis no âmbito do Comércio Europeu de Licenças de Emissão.

Dos resultados mais relevantes realça-se que em média o CDR em estudo possui um teor em biomassa de 60 %, um PCI de 4000 cal/g, um teor em cloro de 1 % m/m (matéria seca), uma humidade de 6 % e uma concentração média em mercúrio inferior a 0,005 mg/MJ. Com os valores obtidos, o CDR enquadra-se na classe 3, para os parâmetros PCI e cloro, e na classe 1 para o mercúrio, segundo a classificação contemplada na NP 4486:2008. Os resultados permitem assim concluir sobre a adequabilidade do produto para valorização energética. O tratamento estatístico revelou que a quantidade de amostras analisadas foram genericamente suficientes para a caracterização da fracção de biomassa, do PCI e do cloro e insuficientes na determinação do teor em metais.

No que respeita ao impacto da alteração da linha de produção nas características dos produtos verifica-se que no CDR não se evidenciou uma relação directa. Relativamente à qualidade dos Finos denota-se uma variação no teor em biomassa derivada do facto da distribuição granulométrica ser diferente e consecutivamente a composição não ser idêntica.

**PALAVRAS-CHAVE:** CDR, CSR, Resíduos, Combustível, Biomassa, Poder Calorífico, Cloro, Mercúrio.



## **ABSTRACT**

In a decade in which Portugal has been investing in renewal energies, in order to become energy independent, Refuse Derived Fuels (RDF) are one of the alternatives worth studying. Its use allows us to obtain a single answer for two questions: obtain an alternative fuel and, at the same time minimize landfilling and improve waste management hierarchy.

The purpose of this work is to obtain a physical-chemical characterization of RDF produced from non-dangerous industrial waste and to study how the changes in the production line might affect the quality of the final product. The present study provides knowledge over composition and characteristics of the higher calorific fractions of non-dangerous industrial solid waste. This was achieved after two independent sample collecting procedures separated by a year time and relating two different industrial procedures. Samples were characterized in terms of calorific value, moisture, chlorine and heavy metals contents using internationally accepted methodologies. At the same time biomass and biogenic carbon content were also measured in RDF and Fines in order to provide to future consumers valid information about its usage as a fuel that contributes with non fossil carbon.

The RDF samples average results of 60% biomass, net calorific value of 4000 cal/g, chlorine content of 1% w/w (dry basis), mercury concentration lower than 0.005 mg/MJ and moisture of 6 %, defines our samples as class 3 for calorific parameters and chlorine and class 1 for mercury content accordingly to NP 4486:2008. Therefore the studied samples are suitable for energy recovery fuels.

It can be also demonstrated in this study that results are not affected by the changes in the industrial process and that the fines have a different biomass contents resulting from its different particle size distribution.

**KEYWORDS:** RDF, SRF, Waste, Fuel, Biomass, Calorific Value, Chlorine, Mercury.





## **SIGLAS E ACRÓNIMOS**

Al - Alumínio

Ba - Bário

Cd - Cádmio

CDR – Combustível Derivado de Resíduos

Cr - Crómio

CSR – Combustível Sólido Recuperado

Cu - Cobre

DL – Decreto-lei

Hg - Mercúrio

LER – Lista Europeia de Resíduos

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PET - Polietileno tereftalato

PVC - Policloreto de vinilo

Pb - Chumbo

RSU – Resíduo Sólido Urbano

Sb - Antimónio

Sn - Estanho

Zn - Zinco

# ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução.....	1
1.1	Introdução.....	1
1.1.1	Produção de Resíduos em Portugal.....	1
1.1.2	Consumo Energético.....	4
1.1.3	Combustíveis Derivados de Resíduos.....	7
1.2	Relevância.....	10
1.3	Objectivos.....	12
1.4	Organização da Dissertação .....	12
2.	Propriedades dos CSR.....	15
2.1	Enquadramento Legal.....	15
2.2	Enquadramento Normativo .....	16
2.3	A Utilização de CSR na Europa .....	17
2.4	Tipos de CSR .....	20
2.5	Classificação de CSR .....	21
2.5.1	Classes de CSR.....	21
2.5.2	Verificação de Conformidade .....	24
3.	Produção de CDR – Tecnologias Existentes .....	25
3.1	Processos de Produção .....	25
3.1.1	Operações Unitárias .....	30
3.1.2	Linhas de Produção e Eficiência .....	47
3.2	Emissões Geradas .....	52
4.	Metodologia .....	57
4.1	Amostragem.....	57
4.1.1	Teoria da Amostragem .....	57
4.1.2	Amostragem de Lote .....	60
4.1.3	Preparação da Amostra Laboratorial .....	63
4.2	Características Físico-Químicas.....	71
4.2.1	Teor em Biomassa .....	71
4.2.2	Teor em Carbono Biogénico .....	75
4.2.3	Poder Calorífico.....	76
4.2.4	Teor em Cloro.....	78
4.2.5	Teor em Metais Pesados .....	79
4.3	Tratamento Estatístico dos Resultados .....	81
4.3.1	Testes à Normalidade.....	83
4.3.2	Determinação da Dimensão da Amostra .....	87
4.3.3	Determinação do Intervalo de Confiança .....	89
5.	Análise e Discussão dos Resultados.....	91
5.1	Determinação do Teor em Biomassa.....	91

5.1.1	Método da Dissolução Selectiva .....	91
5.1.2	Método da Triagem Manual.....	94
5.1.3	Síntese dos Resultados.....	100
5.2	Determinação do Teor em Carbono Biogénico .....	101
5.3	Determinação do Poder Calorífico .....	104
5.4	Determinação do Teor em Cloro .....	106
5.5	Determinação do Teor em Metais Pesados .....	108
6.	Conclusões.....	115
6.1	Síntese Conclusiva .....	115
6.2	Limitações do Estudo.....	118
6.3	Linhas Futuras de Pesquisa.....	119
7.	Referências Bibliográficas.....	123
8.	Bibliografia .....	127
9.	Apêndices.....	130

Apêndice I – Lista dos resíduos utilizados na produção de CDR

Apêndice II – Exemplos de modelos de linhas de produção de CDR

Apêndice III – Registo das quantidades de amostras recolhidas e processadas

Apêndice IV – Registos da determinação do teor em biomassa pelo método da dissolução selectiva

Apêndice V – Registos da determinação do teor em biomassa pelo método da triagem manual

Apêndice VI – Registos da determinação do teor em biomassa pelo método do carbono total

Apêndice VII – Registos da determinação do poder calorífico inferior

Apêndice VIII – Registos da determinação do teor em cloro

Apêndice IX – Registos da determinação do teor em metais

Apêndice X – Histogramas

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Produção de RSU vs. Capitação diária .....	2
Figura 1.2 Destino dos RSU em Portugal .....	3
Figura 1.3 Produção de resíduos industriais .....	3
Figura 1.4 Destinos dos resíduos industriais em 2004 e 2005 .....	4
Figura 1.5 Consumo de energia primária .....	4
Figura 1.6 Produção de energia a partir de fontes renováveis .....	5
Figura 3.1 Esquema de produção de CSR .....	26
Figura 3.3 Esquema representativo da linha de produção em 2008.....	29
Figura 3.4 Moinho de martelos .....	33
Figura 3.5 Destroçador .....	33
Figura 3.6 Triturador .....	34
Figura 3.7 Destroçador de rotor exterior .....	35
Figura 3.8 Separador magnético "overband" .....	37
Figura 3.9 Crivo a operar em modo cascata .....	40
Figura 3.10 Crivo a operar em modo catarata .....	40
Figura 3.11 Taxa de remoção das fracções num pré-tommel, operando a 0° de inclinação .....	41
Figura 3.12 Separador balístico .....	44
Figura 3.13 Separação por Infra-vermelho .....	45
Figura 3.14 Economia de combustível primário e CO <sub>2</sub> pela utilização de CDR .....	55
Figura 4.1 Influência do agrupamento e segregação de partículas na amostragem ..	58
Figura 4.2 Técnica do enquartamento .....	65
Figura 4.3 Amostrador de Jones .....	66
Figura 4.4 Técnica de túnel .....	66
Figura 4.5 Divisor rotativo .....	67
Figura 4.6 Moinho.....	70
Figura 4.7 Calorímetro.....	76
Figura 4.8 Espectrómetro de emissão óptica com plasma (ICP-OES) .....	80
Figura 4.9 Analisador de mercúrio.....	80
Figura 5.1 Teor em cinzas no CDR - 2007.....	91
Figura 5.2 Teor em cinzas nos finos - 2007 .....	91
Figura 5.3 Teor em cinzas no CDR - 2008.....	92
Figura 5.4 Teor em cinzas nos finos - 2008 .....	92
Figura 5.5 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução no CDR – 2007 .....	93

Figura 5.6 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução nos finos – 2007 .....	93
Figura 5.7 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução no CDR – 2008 .....	93
Figura 5.8 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução nos finos – 2008 .....	94
Figura 5.9 Quantidade de amostra utilizada no método da triagem manual - 2007 .....	94
Figura 5.10 Quantidade de amostra utilizada no método da triagem manual - 2008 ...	95
Figura 5.11 Distribuição da categoria biomassa - 2007 .....	96
Figura 5.12 Distribuição da categoria biomassa - 2008 .....	96
Figura 5.13 Distribuição da categoria não biomassa - 2007 .....	96
Figura 5.14 Distribuição da categoria não biomassa - 2008 .....	97
Figura 5.15 Distribuição da categoria inertes - 2007 .....	97
Figura 5.16 Distribuição da categoria inertes - 2008 .....	98
Figura 5.17 Distribuição das categorias - 2007 .....	98
Figura 5.18 Distribuição das categorias - 2008 .....	98
Figura 5.19 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da triagem manual no CDR – 2007 .....	99
Figura 5.20 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da triagem manual no CDR – 2008 .....	100
Figura 5.21 Teor em biomassa como carbono total no CDR - 2007 .....	102
Figura 5.22 Teor em biomassa como carbono total no finos - 2007 .....	102
Figura 5.23 Teor em biomassa como carbono total no CDR - 2008 .....	103
Figura 5.24 Teor em biomassa como carbono total nos finos - 2008 .....	103
Figura 5.25 Poder calorífico superior no CDR - 2007 .....	104
Figura 5.26 Poder calorífico superior no CDR - 2008 .....	105
Figura 5.27 Poder calorífico inferior no CDR - 2007 .....	105
Figura 5.28 Poder calorífico inferior no CDR - 2008 .....	106
Figura 5.29 Teor em cloro no CDR - 2007 .....	107
Figura 5.30 Teor em cloro no CDR - 2008 .....	107
Figura 5.31 Teor em humidade no CDR - 2007 .....	108
Figura 5.32 Teor em humidade no CDR - 2008 .....	108

# ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 Poder calorífico inferior de algumas fracções de resíduos .....	8
Quadro 1.2 Composição típica de CDR .....	8
Quadro 1.3 Comparação de algumas propriedades físico-químicas entre combustíveis tradicionais e alternativos .....	9
Quadro 1.4 Comparação das propriedades e contaminantes entre combustíveis tradicionais e alternativos, utilizados em cimenteiras .....	9
Quadro 2.1 Instrumentos regulamentares vs. sectores de actividade .....	15
Quadro 2.2 Normas de CSR elaborados pela CEN/TC 343 .....	16
Quadro 2.3 Número e capacidade de instalações produtoras de CSR na Europa .....	19
Quadro 2.4 Quantidade de resíduos co-incinerados na indústria cimenteira europeia (x 10 <sup>3</sup> ton) .....	20
Quadro 2.5 Sistema de classificação dos combustíveis sólidos recuperados .....	22
Quadro 2.6 Classificação de CDR pela ASTM .....	22
Quadro 2.7 Especificações utilizadas pelas cimenteiras em vários países .....	23
Quadro 3.1 Tecnologias para corrigir desvios à qualidade do produto .....	27
Quadro 3.2 Instalações em estudo e respectivos resultados matemáticos .....	48
Quadro 3.3 Balanço mássico e energético para várias linhas de produção de CDR a partir de resíduos domésticos .....	50
Quadro 3.4 Custo produção dos equipamentos .....	51
Quadro 3.5 Comparação dos custos de produção de CSR em vários países .....	51
Quadro 3.6 Exemplos de consumos em instalações de produção de CSR a partir de resíduos não perigosos .....	52
Quadro 3.7 Exemplos de emissões gasosas em instalações de produção de CDR a partir de resíduos não perigosos .....	53
Quadro 3.8 Emissão de poluentes atmosféricos após a combustão de 1 tonelada de CDR* .....	54
Quadro 3.9 Emissões de metais pesados com diferentes combustíveis usados em cimenteiras .....	55
Quadro 4.1 Sistema de classificação dos combustíveis sólidos recuperados .....	62
Quadro 4.2 Parâmetros utilizados no cálculo da quantidade de amostra .....	63
Quadro 4.3 Dimensão mínima da amostra para a realização de análises .....	68
Quadro 4.4 Classificação das fracções para a triagem manual .....	73
Quadro 4.5 Resultados dos testes à normalidade .....	85
Quadro 4.6 Resultados dos testes à normalidade - metais.....	86
Quadro 4.7 Determinação da dimensão da amostra mínima (N) .....	88

Quadro 4.8 Determinação da dimensão da amostra mínima (N) – metais .....	89
Quadro 5.1 Classificação das fracções na triagem manual .....	95
Quadro 5.2 Fracções de cinzas, biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2007 .....	99
Quadro 5.3 Fracções de cinzas, biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2008 .....	99
Quadro 5.4 Biomassa no CDR e finos.....	101
Quadro 5.5 Fracções de cinzas e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2007 .....	101
Quadro 5.6 Fracções de cinzas e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2008 .....	102
Quadro 5.7 Biomassa pelo método do carbono no CDR e finos .....	103
Quadro 5.8 PCI do CDR .....	106
Quadro 5.9 Cloro no CDR.....	107
Quadro 5.10 Humidade no CDR .....	109
Quadro 5.11 Teor em metais no CDR (2007) .....	109
Quadro 5.11 Teor em metais no CDR (continuação) (2007) .....	110
Quadro 5.11 Teor em metais no CDR (2007) .....	110
Quadro 5.12 Teor em metais no CDR (2008) .....	111
Quadro 5.12 Teor em metais no CDR (2008) .....	111
Quadro 5.12 Teor em metais no CDR (2008) .....	111
Quadro 5.13 Metais no CDR .....	112
Quadro 5.14 Normas de qualidade de CDR na União Europeia .....	114
Quadro 6.1 Caracterização de CDR utilizado em leito fluidizado .....	116
Quadro 6.2 Caracterização de CDR, na Europa, produzido a partir de fracções monomaterial de resíduos industriais e do comércio .....	116









# 1. INTRODUÇÃO

No capítulo supra-referido são tecidas considerações gerais sobre os temas dos resíduos e do consumo energético em Portugal.

## 1.1 Introdução

### 1.1.1 Produção de Resíduos em Portugal

No decurso dos processos produtivos são gerados resíduos, com diferentes características e graus de perigosidade, para os quais se tem tornado imperativo o desenvolvimento de soluções ambientalmente correctas e economicamente viáveis. Efectivamente, a problemática de gestão de resíduos e a sua valorização é de extrema pertinência e importância para os produtores/detentores de resíduos, que por imposição da legislação em vigor, são obrigados à adopção de medidas conducentes quer à sua minimização, quer ao seu tratamento nos termos da hierarquia de gestão de resíduos actualmente definida (Vilarinho *et al.*, 2008). A produção de resíduos é por conseguinte, segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), uma realidade que continua a constituir um desafio, não só ambiental, mas económico e social.

A produção de resíduos é responsável por inúmeros impactos no ambiente nomeadamente com a poluição do ar e das águas, pelo que uma adequada gestão de resíduos ao nível nacional contribuirá para a promoção da saúde pública, da qualidade do ambiente e a preservação dos recursos (APA, 2008).

Nos últimos 20 anos, com maior preponderância desde 1997, Portugal tem vindo a preparar planos estratégicos e a aplicar instrumentos legais e económico-financeiros com vista a criar mecanismos que permitam obter uma política de gestão de resíduos cada vez mais adequada na qual é estabelecida uma hierarquia em que a prevenção da produção de resíduos é claramente favorecida em detrimento das opções de eliminação (APA, 2008).

Esta linha de actuação é ainda mais visível quando se tratam de resíduos industriais, e em particular de resíduos industriais perigosos, em que se tem apostado claramente no desenvolvimento de tecnologias que permitam a prevenção da produção de resíduos e a promoção e desenvolvimento das opções de reutilização e reciclagem (APA, 2008).

Com o objectivo de melhor abordarmos o tema desenvolvido neste estudo com a problemática da produção de resíduos e a respectiva dificuldade na sua gestão apresentam-se a seguir alguns números referentes às quantidades de resíduos produzidas em Portugal.

Muito embora nesta dissertação apenas sejam abordados os resíduos industriais apresentam-se na Figura 1.1 alguns dados referentes à produção de resíduos urbanos (RSU) nos anos de 1995 a 2006.

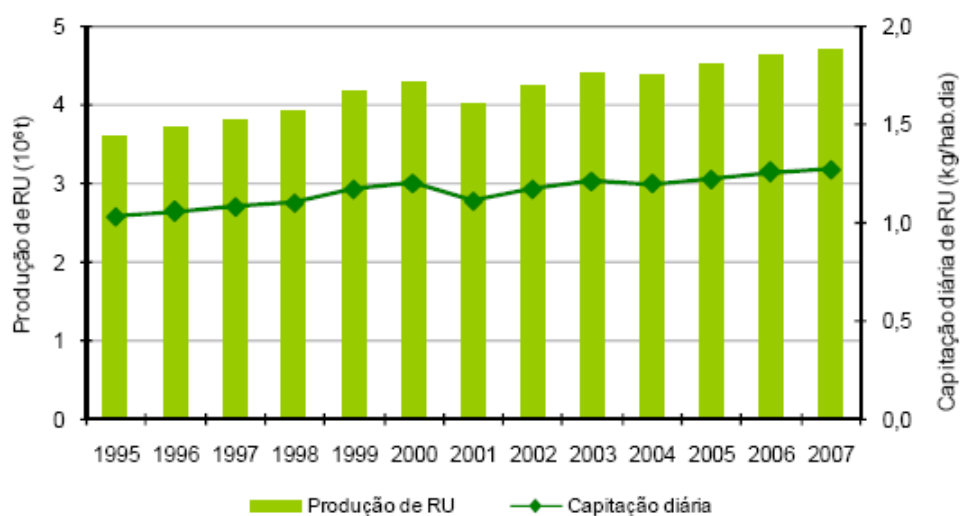


Figura 1.1 Produção de RSU vs. Capacitação diária (APA, 2008)

Embora as políticas de resíduos visem dissociar a produção de resíduos do crescimento económico, ainda se verifica uma estreita relação entre estes dois indicadores, o que leva a supor que nos próximos anos Portugal atinja a capacitação média europeia, que foi de 1,42 kg/habitante.dia em 2006 (APA, 2008).

No que respeita ao destino que tem sido dado aos resíduos urbanos (Figura 1.2) o mesmo tem variado ao longo dos anos, passando numa primeira fase pela erradicação das lixeiras e a sua substituição pela deposição em aterro, e em seguida pelo aparecimento das unidades de incineração e a implementação da recolha selectiva cujo destino é a reciclagem multi-material (APA, 2008).

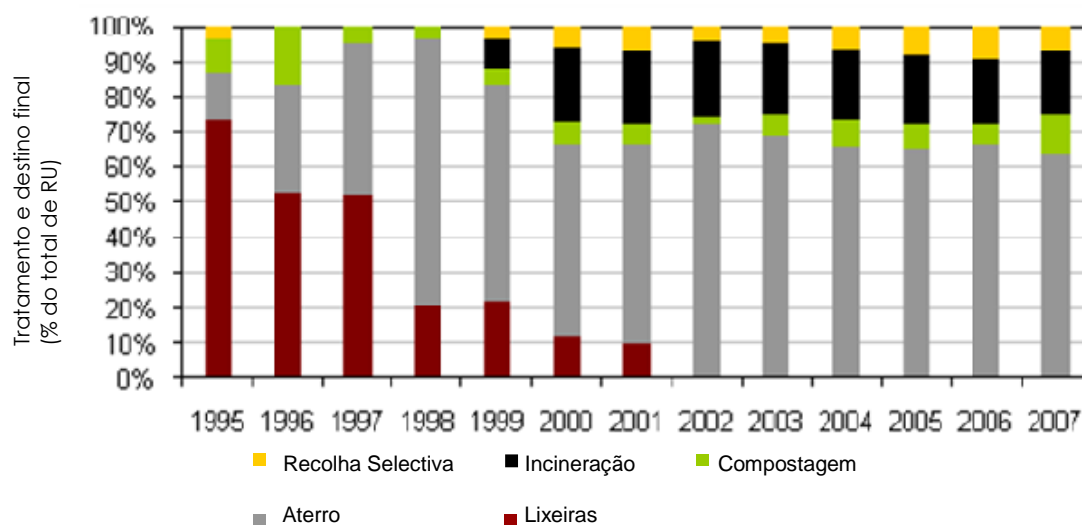


Figura 1.2 Destino dos RSU em Portugal (adaptado de APA, 2008)

Relativamente aos resíduos industriais, tema central deste trabalho, refira-se que se verifica igualmente um aumento da produção entre os anos 1997 e 2005 (Figura 1.3). De salientar porém que existe uma maior dificuldade em obter dados referentes a esta tipologia de resíduos, uma vez que nem todas as empresas apresentam quantidades fidedignas e só recentemente, em 2006, foi criado um sistema de informação e registo electrónico de resíduos (SIRER) que permitirá uma inventariação permanente, acompanhamento e controlo do movimento dos resíduos.

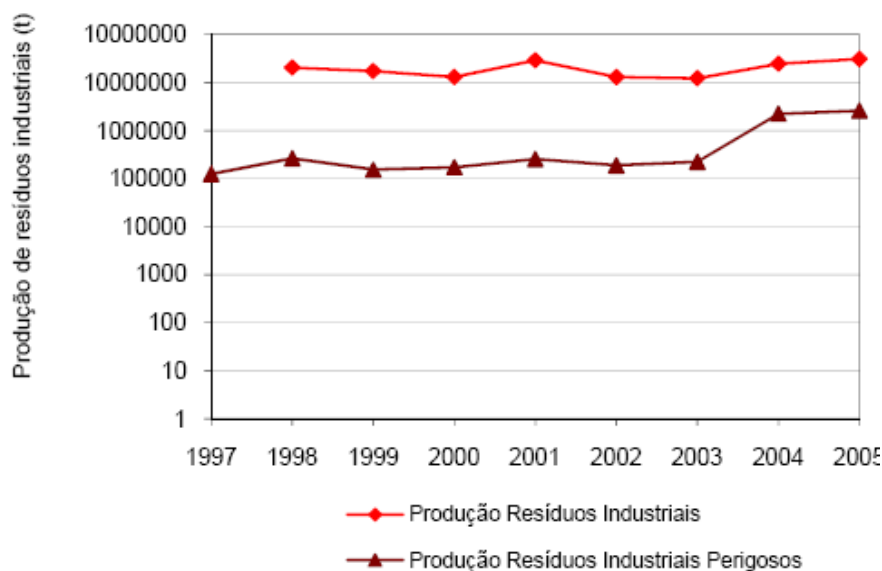


Figura 1.3 Produção de resíduos industriais (APA, 2008)

Na Figura 1.4 apresentam-se os destinos dados aos resíduos industriais, em 2004 e 2005, dos quais cerca de 90 % são resíduos não perigosos.

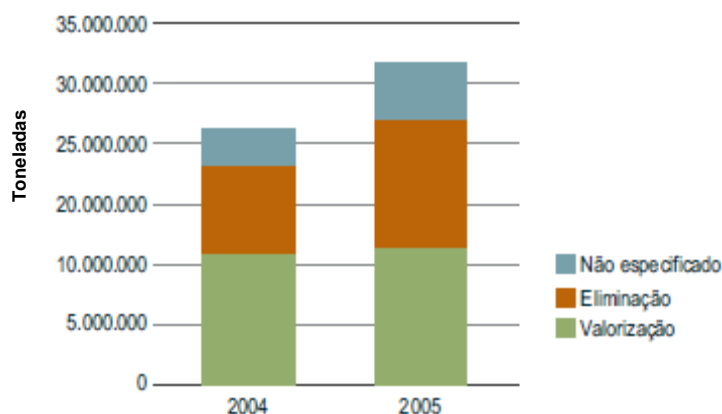


Figura 1.4 Destinos dos resíduos industriais em 2004 e 2005 (APA, 2008)

### 1.1.2 Consumo Energético

Sendo os combustíveis um dos temas abordados nesta dissertação apresentam-se em seguida alguns dados relativos ao consumo de energia em Portugal.

O consumo de energia primária em Portugal tem sofrido um aumento acentuado nos últimos 20 anos em particular o consumo de combustíveis fósseis (DGEG, 2008a).

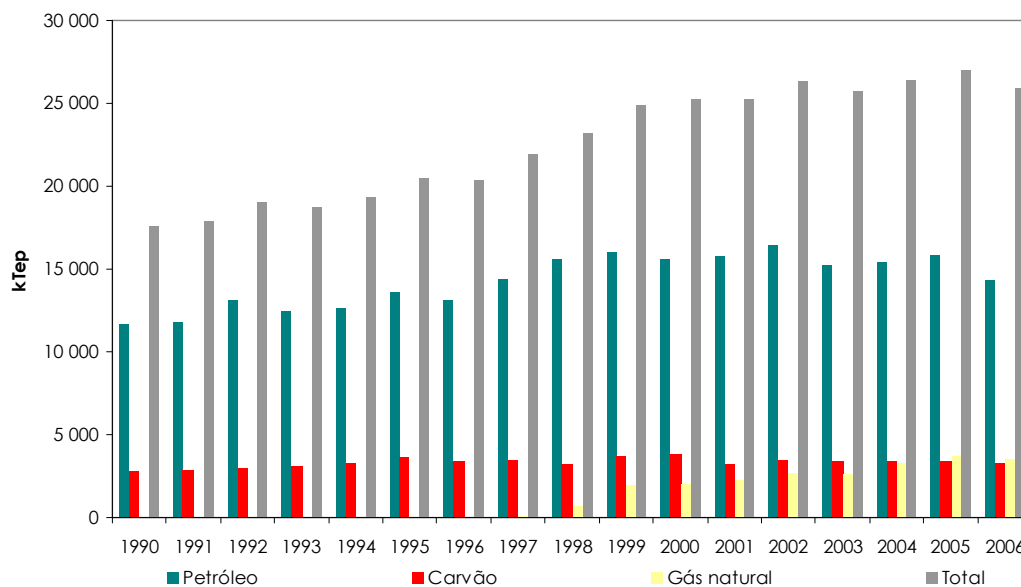


Figura 1.5 Consumo de energia primária (adaptado de DGEG, 2008b)

Contudo, as actividades do sector energético têm um forte impacto no ambiente, com especial ênfase nas alterações climáticas pelo que, a definição das políticas energética e ambiental exige cada vez mais um processo de concertação entre as duas vertentes (DGEG, 2008a).

Face a esta situação as políticas energéticas têm caminhado no sentido de apostar cada vez mais em energias de fontes renováveis para produção de electricidade como sejam a eólica, hídrica, geotérmica e outras, nas quais se incluem os resíduos vegetais, RSU, licores sulfíticos, biogás e biodiesel (DGEG, 2008a).

Apresenta-se na Figura 1.6 a produção nacional de energia a partir de fontes de energia renováveis.

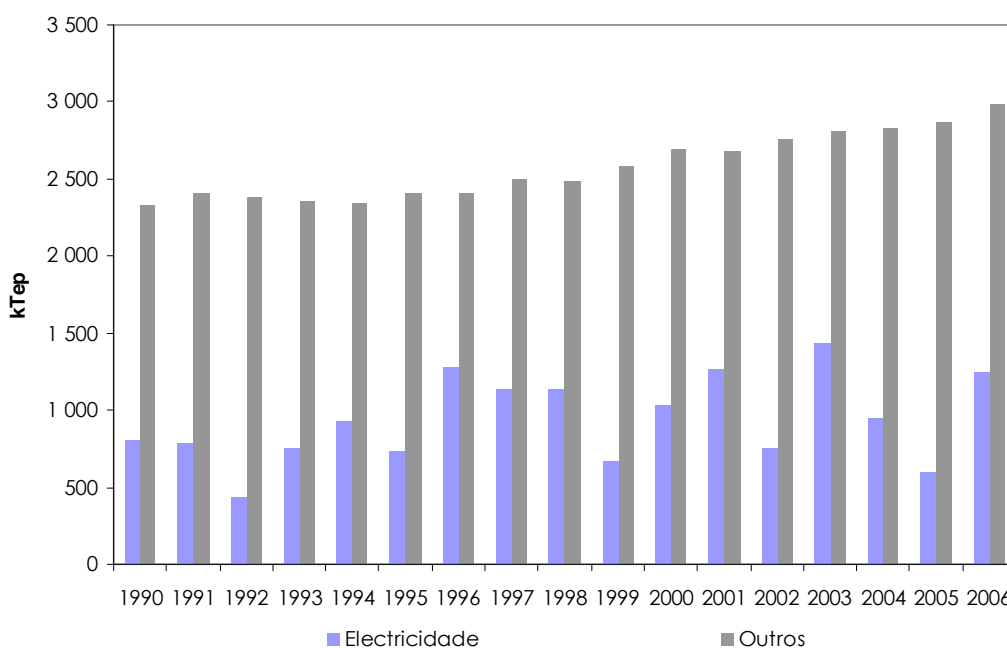


Figura 1.6 Produção de energia a partir de fontes renováveis (adaptado de DGEG, 2008b)

Uma estratégia integrada das políticas energética e ambiental deverá encontrar um ponto de equilíbrio entre a viabilidade técnico-económica e as condicionantes ambientais, tendo em devida consideração a relação custo-eficácia e o desenvolvimento social e económico, na promoção de um desenvolvimento sustentável, todavia, não perdendo de vista a segurança do abastecimento e a sua competitividade (DGEG, 2008a).

A nível nacional têm vindo a ser desenvolvidas acções para melhorar a integração das preocupações ambientais na política energética, com este intuito foi definida em Outubro de 2005, a Estratégia Nacional para a Energia.

A nível comunitário a preocupação de integração das políticas energética e ambiental está revertida na "Política Energética para a Europa". Esta proposta de estratégia comunitária

vem promover uma nova política energética na Europa, assente em 4 pilares (DGEG, 2008a):

- Um mercado de energia funcional;
- A passagem para uma economia de baixo carbono;
- Aumentar a eficiência energética;
- Criar uma nova abordagem nas relações com os países terceiros.

Pretende-se assim transformar a Europa numa economia energética altamente eficiente e com baixa produção de CO<sub>2</sub>, satisfazendo em simultâneo os requisitos energéticos e ambientais, e onde o Plano de Acção para a Política Energética, será um instrumento fundamental para que se venham a cumprir os objectivos de (DGEG, 2008a):

- Uma redução de GEE (Gases com Efeito de Estufa) até 2020, em 20%, em relação a 1990;
- Uma meta vinculativa de 20% para as Renováveis em 2020, e uma meta mínima vinculativa de 10% de biocombustíveis nos transportes;
- Uma redução de 20% do consumo energético em 2020, de acordo com o Plano de Acção da Eficiência Energética.

O tema das alterações climáticas e outras preocupações ambientais, nomeadamente da qualidade do ar, em que a Energia tem um papel relevante, tem levado à procura de soluções alternativas que têm contribuído para:

- Melhorar a articulação e focalização da Inovação e Desenvolvimento (I&D) na política energética, tendo em vista o desenvolvimento de novas tecnologias mais limpas e eficientes;
- Promover a melhoria da eficiência energética, como instrumento de maior potencial para contribuir para a redução das emissões dos gases com efeito de estufa e redução da dependência do petróleo;
- Aproveitar o potencial de utilização de fontes de energia renovável e a introdução de tecnologias de baixo carbono;

o que irá, em conjunto, permitir uma diversificação das fontes energéticas e uma redução significativa das emissões de CO<sub>2</sub> e contribuir para uma energia sustentável, não pondo em causa a competitividade das empresas e o crescimento económico dos países (DGEG, 2008a).

No que se refere às Alterações Climáticas, Portugal adoptou, em 2001, a Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas que contém os princípios e objectivos que orientam as



políticas e medidas a adoptar no âmbito desta problemática e que conduzam ao cumprimento dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto. Esta estratégia assenta em três instrumentos principais (DGEG, 2008a):

- Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) – programa que integra um conjunto de políticas e medidas para os vários sectores de actividade, tendo em conta a eficácia ambiental e o custo efectivo para a sua economia, que visam a redução das emissões de GEE;
- Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) - instrumento de mercado com impacto na eficácia ambiental, através do qual o sector energético contribuirá para a redução das emissões dos gases com efeito de estufa, melhorando o binómio custo/eficácia;
- Mecanismos de Mercado do Protocolo de Quioto - Implementação Conjunta, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Comércio Internacional de Emissões.

### **1.1.3 Combustíveis Derivados de Resíduos**

A origem dos combustíveis sólidos recuperados (CSR) remonta aos anos 70 no decorrer da crise petrolífera. O CSR foi então promovido enquanto combustível de baixo custo (Glorius *et al.*, s.d.).

Os termos combustível derivado de resíduos (CDR) ou combustível sólido recuperado (CSR) destinam-se a designar a(s) fracção(ões) combustíveis recuperadas a partir de resíduos sólidos não perigosos. A principal diferença reside no facto dos CSR terem necessariamente de possuir características compatíveis com normas e especificações de qualidade, ou seja, serem considerados como produtos, enquanto o CDR é classificado como resíduo.

Para um CDR ser classificado como combustível terá de garantir pelo menos as seguintes características (Palazzolo *et al.*, 2008):

- Um poder calorífico inferior (PCI) superior ao valor mínimo;
- Um teor em humidade inferior a um limite pré-estabelecido;
- Partículas com uma dimensão compatível com o sistema de queima do utilizador final (nas cimenteiras esse valor é em média inferior a 20 mm).

Para além dos requisitos supra-referidos o CDR deverá ainda apresentar estabilidade biológica, de modo a não produzir odores desagradáveis, e não constituir um perigo para a saúde dos trabalhadores, devido ao seu potencial risco biológico (Palazzolo *et al.*, 2008).

Para melhor se enquadrar as várias fracções de resíduos enquanto potenciais combustíveis Dong *et al.* (2009) publicaram o poder calorífico inferior de algumas categorias que podem ser incorporadas num CDR (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 Poder calorífico inferior de algumas fracções de resíduos (adaptado de Dong *et al.*, 2009)

Constituinte (%)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)
Papel	3588
Madeira	4400
Têxteis	5200
Resinas sintéticas	7857
Lamas de tratamento de águas residuais	1800
Borracha e napa	7200
Plástico	8000
Lamas de processo	3000

Complementarmente a título ilustrativo apresentam-se no Quadro 1.2 composições típicas de CDR produzidos a partir de unidades de tratamento mecânico e biológico para RSU.

Quadro 1.2 Composição típica de CDR (adaptado de Marsh *et al.*, 2007)

Constituinte (%)	Ecodeco	Grontmij	Herhof
Papel/cartão	35.1	25	55
Orgânicos	2.1	15	0
Vidro	0.9	4	1
Finos	20.3	0	0
Metais ferrosos	2.2	1	0
Plásticos rígidos	23	15	5
Filme (plástico)	0	5	4
Têxteis	14	0	5
Fracções combustíveis	1.6	30	30
Fracções não combustíveis	0.8	5	0

Por último apresentam-se nos quadros seguintes (Quadros 1.3 e 1.4) algumas características físico-químicas essenciais, para a caracterização de combustíveis, tendo em vista a comparação entre combustíveis tradicionais e alternativos.

Quadro 1.3 Comparação de algumas propriedades físico-químicas entre combustíveis tradicionais e alternativos (adaptado de Roos *et al.*, 2007)

Parâmetro	Antracite	Lenhite	CDR - centrais termoelectricas a lenhite	CDR - centrais termoelectricas a antracite	CDR - cimenteiras
Poder calorífico (kJ/kg)	25 000	9200	14 000 – 16 000	18 000 – 25 000	20 000 – 23 000
Humidade (%)	10	52,7	<35	15	9
Cinzas (%)	10	4	<20	15	<15
Cloro (%)	0,01 – 0,3	0,03 – 0,06	0,5	1	0,7
Enxofre (%)	1	0,2	0,5	1	0,2

Genon *et al.* (2008) compilaram, a partir de diversas fontes, alguns dos contaminantes presentes nos CDR e nos combustíveis tradicionais utilizados em cimenteiras.

Quadro 1.4 Comparação das propriedades e contaminantes entre combustíveis tradicionais e alternativos, utilizados em cimenteiras (adaptado de Genon *et al.*, 2008)

Parâmetro	CDR		Legislação italiana		Carvão		Petcoque	
	Min	Max	CDR	CDR de alta qualidade	Min	Max	Min	Max
N (%)	0.52	0.52			1.3	1.3	2	2
S (%)	0.1	0.2	0.6	0.3			5	5
Cl (%)	0.28	0.7	0.9	0.7			0.01	0.01
PC (kJ/kg)	13 000	22 000	15 000	20 000	23 220	33 040	33 863	33 863
Humidade (%)	2.9	34	25	18				
Sb (ppm b.s.)	9	14.7			1	1	0.2	0.2
As (ppm b.s.)	0.9	8.8	9	5	0.5	10	0.46	0.46
Cd (ppm b.s.)	0.18	2.6	<7	3	0.05	10		0.3
Cr (ppm b.s.)	11.3	140	100	70	0.5	60	0.1	104
Co (ppm b.s.)	0.6	4			0.5	20		
Mn (ppm b.s.)	28	210	400	200	5	300		
Hg (ppm b.s.)	0.1	0.4	<7	1	0.02	4.4	0.01	0.1
Ni (ppm b.s.)	0.85	21	40	30	0.5	100	200	300
Pb (ppm b.s.)	25	157	200	100	1	300	2.4	100
Cu (ppm b.s.)	45	266	300	50	5	60		
Sn (ppm b.s.)	4	500			10	10		
Tl (ppm b.s.)	0.02	0.5			1	1	0.04	3
V (ppm b.s.)	0.3	7			1	100	400	2342
Zn (ppm b.s.)	225	340			1	1000	6.8	6.8

b.s. base seca

Em suma os factores de sucesso para a classificação de um CDR como combustível alternativo devem-se essencialmente a (Roos *et al.*, 2007):

- Obter-se um produto com características definidas de acordo com uma especificação compatível com a utilização final;
- Uma adequada selecção das matérias-primas utilizadas no processo de produção;
- Uma tecnologia de processamento adequada;
- Um controlo de qualidade do produto final eficiente.

Nos próximos capítulos será utilizado o termo CSR se a fonte assim o referir e o termo CDR para o combustível, objecto de análise neste estudo.

## 1.2 Relevância

Cada vez mais os conceitos de recurso, produto e resíduo são nomes que se dá a um conjunto de materiais em momentos diferentes. Recurso, enquanto matérias-primas; produto, quando os materiais estão organizados e são úteis para satisfazer uma necessidade e resíduo, quando já se consumiu a sua utilidade e se encontram desorganizados. Pode assim dizer-se que um resíduo não é senão a matéria-prima de um recurso e em suma, ao recolherem-se todos os resíduos materiais dos processos de extracção, produção e utilização de qualquer produto e os reorganizarmos até à qualidade original em que se recolhem do ambiente, ter-se-á evitado os impactos ambientais associados ao seu derrame e regenerado o recurso para que esteja novamente disponível. Fechar os ciclos materiais, devolvendo os resíduos à qualidade de recursos, é uma estratégia que conduz à sustentabilidade (Ecomateriales, 2009).

Em consequência do desenvolvimento industrial da sociedade actual, nos últimos anos aumentou-se largamente a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera, o qual tem vindo a ocasionar graves problemas ambientais através do aquecimento global do planeta. Sendo este CO<sub>2</sub> proveniente principalmente de processos de combustão doméstica (aquecimento) e do tráfego rodoviário, aumenta cada vez mais a consciencialização para a adopção de energias renováveis que não emitam CO<sub>2</sub>, em alternativa à utilização de combustíveis fósseis (Lousada *et al.*, 2008).

No domínio das emissões provenientes dos aterros, nomeadamente o metano, Spencer *et al.* (2000) estimaram que, caso os resíduos domésticos e os resíduos verdes, que constituem aproximadamente 96 % do conteúdo dos aterros, fossem deslocalizados para a produção de energia, reduzir-se-ia em 6,5 milhões de toneladas as emissões de gases de efeito estufa.

Face a estas problemáticas e ao estabelecimento de regras no domínio da gestão de resíduos, que privilegiam as opções de valorização, os CDR surgem como uma alternativa viável para os resíduos cuja reciclagem material é demasiado complexa ou onerosa.

Embora na Europa a utilização de CSR e/ou CDR remonte à década de 70, em Portugal só recentemente a legislação previu a sua produção e consumo nomeadamente através do Despacho n.º 454/2006 (II Série), de 9 de Janeiro, onde é feita uma reflexão sobre a estratégia de gestão integrada dos RSU. Como consequência pode-se facilmente depreender que a experiência relativamente à produção deste tipo de combustíveis, em Portugal, é ainda muito reduzida quer a partir de RSU ou mesmo de resíduos industriais. No que respeita à utilização, já foram dados alguns passos uma vez que as indústrias há já alguns anos que procedem à queima de resíduos e biomassa nos seus fornos.

Surge assim com este trabalho a oportunidade de acompanhar de perto a produção de CDR a partir de resíduos industriais não perigosos e posteriormente efectuar a caracterização física e química do produto obtido, de modo a avaliar com exactidão a qualidade e a compatibilidade deste material com a posterior utilização. Bons conhecimentos sobre as características destes produtos permitirão aos actuais e futuros consumidores enquadrar a utilização destes combustíveis no seio das suas instalações quer em regime de exclusividade ou de substituição parcial dos tradicionais combustíveis fósseis. As características mais relevantes para os consumidores prendem-se com a caracterização enquanto combustível e com os componentes que podem interferir com os processos de fabrico ou ainda os que podem estar associados a potenciais libertações para a atmosfera, após a queima.

Outro aspecto já abordado e com grande relevância neste tema é o facto dos CDR, pelo seu conteúdo em biomassa, poderem tornar-se uma importante mais valia no mercado do carbono, no domínio do comércio das licenças de emissão de dióxido de carbono. Efectivamente, ao contrário dos combustíveis fósseis tradicionais, o CDR contém uma fracção de carbono de origem não fóssil, logo proveniente de fontes renováveis que poderá ser contabilizada favoravelmente, pelos consumidores, no cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>.

Em suma, este trabalho reveste-se de particular importância numa fase em que o fornecimento à Europa dos combustíveis de origem fóssil sofre variações de natureza político-estratégica e simultaneamente existe o comprometimento de Portugal no Protocolo

de Quioto, o que se traduz na necessidade de redução de emissões de CO<sub>2</sub> a partir de fontes não renováveis.

### **1.3 Objectivos**

Os objectivos gerais desta dissertação prendem-se com a caracterização física e química de combustíveis derivados de resíduos preparados a partir de fracções de resíduos industriais não perigosos com determinadas características, de modo a permitir a sua valorização energética. Paralelamente pretende-se efectuar o estudo de duas linhas alternativas de produção de combustíveis derivados de resíduos e avaliar o impacto na qualidade dos produtos finais. O trabalho no seu todo foi realizado nas instalações do CITRI – Centro Integrado de Tratamento de Resíduos Industriais, localizado na zona da Mitrena, em Setúbal. O CITRI é detentor de uma instalação de preparação e produção de Combustíveis Derivados de Resíduos onde o combustível, após caracterização, é encaminhado para valorização energética num forno rotativo instalado na cimenteira.

No final do trabalho espera-se obter uma caracterização de dois tipos de CDR, preparados a partir das duas linhas de produção, e uma avaliação da qualidade dos produtos obtidos, por comparação com normas nacionais e internacionais.

### **1.4 Organização da Dissertação**

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos.

O primeiro capítulo contém uma breve introdução ao tema dos combustíveis derivados de resíduos, apresenta-se a relevância, os objectivos e a organização da dissertação.

O segundo capítulo aborda as características dos CSR e CDR nomeadamente o seu enquadramento normativo e legal e um ponto de situação sobre a sua utilização na Europa. São ainda apresentados os vários tipos de CDR e a forma como se encontram classificados.

No terceiro capítulo são descritas as várias operações unitárias passíveis de existir nos processos produtivos de CDR. Faz-se ainda uma breve referência à eficiência das operações unitárias e dos processos de produção bem como sobre as emissões associadas. Neste capítulo descreve-se também as linhas de produção utilizadas neste estudo.

No quarto capítulo descreve-se a metodologia utilizada na caracterização dos CDR e dos Finos em estudo desde a etapa da amostragem, com uma breve apresentação da respectiva teoria, à técnica de preparação das amostras, e por fim a descrição da metodologia e equipamentos utilizados nos parâmetros objecto de análise, que se resumem essencialmente aos estabelecidos nos referenciais normativos e na especificação do cliente.

O quinto capítulo é destinado à apresentação dos resultados e respectiva análise e discussão. São apresentados os resultados referentes aos anos em estudo, 2007 e 2008, e o tratamento estatístico associado. Tecem-se ainda algumas considerações sobre as diferenças obtidas nos dois anos e procura-se efectuar uma comparação.

Por último, o sexto capítulo é dedicado às conclusões deste trabalho. Indicam-se ainda alguns dos problemas encontrados e sugerem-se algumas linhas para futuras pesquisas.





## 2. PROPRIEDADES DOS CSR

Neste capítulo procede-se ao enquadramento legal e normativo dos CDR e CSR na actual conjectura nacional e europeia e o respectivo estado da arte sobre a classificação e utilização.

### 2.1 Enquadramento Legal

A actual “Lei-Quadro dos Resíduos” transcrita no Decreto-lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, veio estabelecer o regime geral da gestão de resíduos em sequência da transposição da Directiva Resíduos. Este diploma prevê que as operações de gestão de resíduos sejam realizadas de acordo com normas técnicas relativas à eliminação ou redução do perigo para a saúde humana e para o ambiente. No Decreto-lei n.º 178/2006 foram ainda definidos novos mecanismos de licenciamento de unidades de triagem, processamento mecânico e co-incineração de resíduos não perigosos com vista a agilizar os respectivos procedimentos. Por fim, este diploma estabelece as taxas de gestão de resíduos a aplicar em função da tipologia de resíduos e das respectivas operações a que os mesmos forem submetidos.

O enquadramento legislativo para a utilização de combustíveis alternativos é dado pelo Decreto-lei n.º 85/2005, de 28 de Abril, que regula a incineração e a co-incineração de resíduos. Existem ainda outros diplomas aplicáveis especificamente a sectores de actividade como a industria cimenteira, papelera (ou celulose), vidreira, energética e outros. Para cada actividade específica existem ainda outros diplomas aplicáveis que devem ser tidos em conta pelos utilizadores (Dias *et al.*, 2006). No Quadro 2.1 constam alguns dos instrumentos regulamentares afectos aos diferentes sectores de actividade.

Quadro 2.1 Instrumentos regulamentares vs. sectores de actividade (adaptado de Dias *et al.*, 2006)

Sector	Instrumentos regulamentares
Centrais termoeléctricas	Directiva “Grandes Instalações de Combustão” → DL 178/2003, de 5 de Agosto
	Directiva “Incineração” → DL 85/2005, de 28 de Abril
	Directiva “Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP)” → DL 194/2000, de 21 de Agosto/ DL 233/2004 de 14 de Dezembro
	Especificações para CSR
Indústria:	Directiva “Incineração” → DL 85/2005, de 28 de Abril
Cimenteira	Directiva “Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP)” → DL 194/2000, de 21 de Agosto/ DL 233/2004 de 14 de Dezembro
Papel e pasta	
Metalúrgica	BREF's / MTD's (Melhores Técnicas Disponíveis)

Ainda do foro legal existem outros diplomas no âmbito dos RSU nos quais a produção e utilização dos CDR foram enquadradas, nomeadamente o Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) II, onde é promovida a diversificação de soluções técnicas para o tratamento dos RSU, e o Decreto-lei n.º152/2002, de 23 de Maio, que estabelece objectivos de redução da deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro.

## 2.2 Enquadramento Normativo

No âmbito normativo, existem duas comissões técnicas no Comité Europeu de Normalização (CEN), responsáveis pela criação e definição de sistemas de garantia de qualidade e referenciais normativos, que operam no domínio dos CSR:

CEN/TC 343 – Comité técnico para a padronização de combustíveis sólidos recuperados, CSR;

CEN/TC 118 – CEN/TR 14745:2003 – Relatório sobre combustíveis sólidos recuperados.

O Quadro 2.2 resume as normas disponíveis até à data da CEN/TC 343.

Quadro 2.2 Normas de CSR elaborados pela CEN/TC 343 (adaptado de CEN, 2008)

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
CEN/TS 15357:2006	Solid recovered fuels - Terminology, definitions and descriptions
CEN/TS 15358:2006	Solid recovered fuels - Quality management systems - Particular requirements for their application to the production of solid recovered fuels
CEN/TS 15359:2006	Solid recovered fuels - Specifications and classes
CEN/TS 15440:2006	Solid recovered fuels - Method for the determination of biomass content
CEN/TR 14980:2004	Solid recovered fuels - Report on relative difference between biodegradable and biogenic fractions of SRF
CEN/TR 15441:2006	Solid recovered fuels - Guidelines on occupational health aspects
CEN/TS 15400:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of calorific value
CEN/TS 15401:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of bulk density
CEN/TS 15402:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of the content of volatile matter
CEN/TS 15403:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of ash content
CEN/TS 15404:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of ash melting behaviour by using characteristic temperatures
CEN/TS 15405:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of density of pellets and briquettes
CEN/TS 15406:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of bridging properties of bulk material
CEN/TS 15407:2006	Solid recovered fuels - Method for the determination of carbon (C), hydrogen (H) and nitrogen (N) content

continuação

Quadro 2.2 Normas de CSR elaborados pela CEN/TC 343 (adaptado de CEN, 2008) (cont.)

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
CEN/TS 15408:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of sulphur (S), chlorine (Cl), fluorine (F) and bromine (Br) content
CEN/TS 15411:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of the content of trace elements (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V and Zn)
CEN/TS 15412:2006	Solid recovered fuels - Methods for the determination of metallic aluminium
CEN/TS 15413:2006	Solid recovered fuels - Methods for the preparation of the test sample from the laboratory sample
CEN/TS 15442:2006	Solid recovered fuels - Methods for sampling
CEN/TS 15443:2006	Solid recovered fuels - Methods for laboratory sample preparation
CEN/TS 15414-1:2006	Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 1: Determination of total moisture by a reference method
CEN/TS 15414-2:2006	Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 2: Determination of total moisture by a simplified method
CEN/TS 15414-3:2006	Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample
CEN/TS 15415:2006	Solid recovered fuels - Determination of particle size distribution by screen method
CEN/TR 15508:2006	Key properties on solid recovered fuels to be used for establishing a classification system
CEN/TS 15590:2007	Solid recovered fuels - Determination of potential rate of microbial self heating using the real dynamic respiration index
CEN/TR 15591:2007	Solid recovered fuels - Determination of the biomass content based on the 14C method
CEN/TS 15639:2007	Solid recovered fuels - Methods for the determination of mechanical durability of pellets

A nível nacional a criação e o acompanhamento dos referenciais normativos neste domínio está a cargo da CT 172 “Combustíveis Derivados de Resíduos e Biocombustíveis Sólidos” coordenada pelo INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. Recentemente foi publicada a NP 4486:2008 sobre combustíveis derivados de resíduos, que veio em suma transpor para o normativo nacional o já estabelecido pela CEN. Presentemente encontra-se em desenvolvimento e aguarda publicação a Estratégia para os Combustíveis Derivados de Resíduos, elaborado pelo Grupo de Trabalho interministerial constituído na sequência do Despacho de 2 de Janeiro de 2009 de Sua Excelência o Secretário de Estado do Ambiente.

## 2.3 A Utilização de CSR na Europa

Segundo Gidarakos *et al.* (2008) até 1984 existiam 53 instalações de produção de CSR na Europa, a maioria no Reino Unido e na Suécia, contudo devido ao elevado teor em cloro e em metais pesados a procura destes combustíveis não era significativa.

Desde então existem diversos factores que têm contribuído para a utilização de resíduos, na Europa, como fonte de energia em processos de combustão, nomeadamente (European Commission, 2006):

- Directivas que estabeleceram hierarquias de gestão de resíduos privilegiando a reciclagem e a valorização, incluindo a energética;
- Legislação específica sectorial e para os diversos fluxos de resíduos, embalagens, veículos em fim de vida, resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos;
- A Directiva "Aterros", que veio estabelecer limites à colocação de resíduos biodegradáveis em aterro, sendo a co-incineração, a incineração ou os sistemas de tratamento mecânico-biológico, vias alternativas;
- O Protocolo de Quioto, em que foram definidos objectivos para a redução de emissões de gases efeito de estufa. A co-incineração de resíduos em substituição dos combustíveis tradicionais pode tornar-se uma opção viável à redução dos gases;
- A liberalização do mercado energético, que abre novas perspectivas para os intervenientes no sector, e poderá tornar as instalações de combustão mais atractivas do ponto de vista comercial;
- A redução de custos com combustível, em instalações onde ocorram processos de combustão.

Complementarmente, no actual contexto europeu distinguem-se três vertentes segundo as quais o CSR, enquanto fonte de energia, deve ser analisado segundo um modo integrado (Dias *et al.*, 2006).

- Enquanto combustível na sua definição;
- Enquanto fonte de energia renovável;
- Enquanto fonte de energia que evita a emissão de CO<sub>2</sub> fóssil.

Face ao exposto apresenta-se no Quadro 2.3 a quantidade e respectiva capacidade instalada de instalações produtoras de combustíveis preparados a partir de resíduos em diversos países da Europa.

Quadro 2.3 Número e capacidade de instalações produtoras de CSR na Europa (adaptado de European Commission, 2006)

País	Número de instalações		Capacidade instalada	
	Perigosos	Não Perigosos	Perigosos	Não Perigosos
Bélgica	12	Y		
Dinamarca	4	13		
Alemanha	16	34		
Grécia	0	0		
Espanha	33	5	204	
França	54	Y	542	1 400
Irlanda	2	Y		
Itália		27		2080
Luxemburgo	0	Y		
Holanda	1	Y		
Áustria	8	10		
Portugal	0	Y		165
Finlândia	7	37	106	800
Suécia	Y	Y		
Reino Unido	Y	Y		
Islândia	1	Y		
Noruega	2	Y		
TOTAL	140	126	852	4445

Y: Existe, mas não se dispõe de informação.

Nota: Os valores desta tabela podem não reflectir o número de instalações ou a sua capacidade. A principal razão deve-se a ser um mercado muito dinâmico em que os números se alteram rapidamente e/ou porque não foi fornecida qualquer informação pela TWG. As células que não contêm números significa que não foi providenciada nenhuma informação.

Schingnitz *et al.* (2008) estimam que actualmente são produzidos na Alemanha cerca de 7 milhões de toneladas de CDR, contudo, até 2007 apenas 3,2 milhões eram utilizados como combustível secundário em instalações de produção de energia ou cimenteiras, sendo que aproximadamente 50 % das necessidades de combustível, nas cimenteiras, são cobertas por CDR. A utilização de CDR nas centrais térmicas está ainda no começo (Roos *et al.*, 2007).

Tal como referido anteriormente, na Europa, a indústria cimenteira é a maior consumidora de CDR, existindo actualmente mais de 100 fornos a co-incinerar diferentes tipos de resíduos (Genon *et al.*, 2008). No Quadro 2.4 apresentam-se as quantidades de resíduos co-incinerados nas cimenteiras de diversos países na Europa.

Quadro 2.4 Quantidade de resíduos co-incinerados na indústria cimenteira europeia (x 10<sup>3</sup> ton)  
(adaptado de Genon *et al.*, 2008)

Combustível Secundário	AT	BE	DK	FI	FR	DE	G R	IR	IT	LU	NL	PO	ES	SE	UK	Total
Pneus	30	25		8	200 <sup>c</sup>	240				<sup>i</sup>	-	6.5	13		25	550
Óleos usados	30	<sup>b,i</sup>			520 <sup>b,c</sup>	180							9	6	120	1000
Solventes	7.5					25					10					
Lamas		15	7.5								30					50
Plásticos/ papel	25	<sup>i</sup>	10			290										350
Farinhas animais	10	220			100											350
Madeira			>0.5			80							2+5 <sup>g</sup>			100
Outros	40 <sup>a</sup>	<sup>c, i</sup>	22 <sup>d</sup>			115					>5 <sup>f</sup>		10		<sup>h,i</sup>	200
Total	142.5	NI	40	8	820	930	0	0	(NI)	(NI)	>45	6.5	39	6	(>55)	2600
% Substituição	26	40	7		24	23			1.5	5-10			1.2	13		

Notas:

Os números em parêntesis correspondem a quantidades reportadas incompletas.

<sup>a</sup> Resíduos de pasta de papel

<sup>b</sup> Essencialmente combustíveis produzidos a partir de serradura e outros materiais absorventes

<sup>c</sup> Inclui fracções trituradas de VFV e pellets de têxteis e alcatifas

<sup>d</sup> Inclui resíduos têxteis e outros resíduos não perigosos

<sup>e</sup> Estimativa

<sup>f</sup> Inclui lamas da indústria de papel e resíduos de borracha

<sup>g</sup> Serradura

<sup>h</sup> Preparado para combustível a partir de resíduos de papel, plásticos e pontas de alcatifas

<sup>i</sup> Quantidades não disponibilizadas

## 2.4 Tipos de CSR

A produção de CSR pode ser realizada de modo a se obterem três tipos de produto distintos, que se caracterizam por diferentes formas do material produzido (Dias *et al.*, 2006). Genericamente classificam-se os CSR em função da forma nas seguintes três categorias distintas (Dias *et al.*, 2006):

*Fluff* – material solto, de baixa densidade. Este produto devido às características referidas é facilmente transportado pelo ar.

*Pellets* – CSR produzido por aglomeração de material solto em cubo, disco ou cilindro. A dimensão é geralmente inferior a 25 mm.

*Briquette* – bloco ou cilindro de CSR produzido por aglomeração de material solto. A dimensão é geralmente superior a 25 mm.

## 2.5 Classificação de CSR

À luz da actual legislação europeia os CDR são classificados como resíduos, de acordo com o código “191210 – Resíduos combustíveis (combustíveis derivados de resíduos)” da Lista Europeia de Resíduos. Com a publicação da nova “Directiva Resíduos”, Directiva n.º 2008/98/CE, de 19 de Novembro, do Parlamento Europeu e do Conselho contemplou-se, no seu art. 6.º, a possibilidade de determinados resíduos poderem ser desclassificados como tal, caso tenham sido submetidos a uma operação de valorização e simultaneamente satisfaçam os seguintes requisitos:

- A substância ou objecto ser habitualmente utilizado para fins específicos;
- Existir um mercado ou uma procura para essa substância ou objecto;
- A substância ou objecto satisfazer os requisitos técnicos para os fins específicos e respeitar a legislação e normas aplicáveis aos produtos;
- A utilização da substância ou objecto não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.

A nível normativo, o sistema de classificação de CSR, estabelecido pela CT 343, baseia-se essencialmente em três parâmetros: económico (poder calorífico inferior), técnico (teor em cloro) e ambiental (conteúdo em mercúrio) (CEN, 2006a). Estes parâmetros foram escolhidos por forma a dar ao consumidor final uma ideia aproximada da qualidade do combustível. O consumidor pode assim facilmente aferir da qualidade do produto que compra através da análise destes três parâmetros.

### 2.5.1 Classes de CSR

Tal como referido, o sistema de classificação de CSR, na Europa, assenta no estabelecimento de valores limite para três propriedades relevantes dos combustíveis alternativos. Estas propriedades e limites são estabelecidos segundo a norma CEN/TS 15359:2006 e mais recentemente pela NP 4486:2008 (CEN, 2006a; IPQ, 2008) e resumem-se em:

- o valor médio do poder calorífico superior (ou inferior) do material tal qual;
- a média do teor em cloro, em base seca;
- a mediana e o valor do percentil, a 80 %, do conteúdo em mercúrio, do material tal qual.

Cada uma das propriedades, que servem para enquadrar o CSR, divide-se em 5 classes, conforme Quadro 2.5 (CEN, 2006a; IPQ, 2008).

Quadro 2.5 Sistema de classificação dos combustíveis sólidos recuperados (adaptado de CEN, 2006a)

Parâmetro	Valor estatístico	Unidades	Classes				
			1	2	3	4	5
Poder calorífico inferior (PCI)	Média	MJ/kg (material tal qual)	$\geq 25$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 10$	$\geq 3$
Cloro (Cl)	Média	% m/m (matéria seca)	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3$
Mercúrio (Hg)	Mediana	mg/MJ (material tal qual)	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,50$
	Percentil a 80 %		$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,16$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$

Nos Estados Unidos os CDR, produzidos a partir de RSU, encontram-se distribuídos segundo outra classificação, definida pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*), que se encontra representada no Quadro 2.6:

Quadro 2.6 Classificação de CDR pela ASTM (adaptado de Pichtel, 2005)

Categoria CDR	Descrição
CDR – 1 (RSU)	Produzido a partir de RSU com o mínimo processamento onde apenas são removidos os resíduos volumosos.
CDR – 2 (c-RSU)	RSU processado até um diâmetro de partícula grosseira com ou sem separação de metais ferrosos de modo a garantir que 95 % em peso do material passa por um crivo de 6 polegadas <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> ).
CDR – 3 (fluff)	Combustível triturado derivado de RSU processado para a remoção de metais, vidros entre outros compostos inorgânicos; O diâmetro da partícula deste material deve ser, em 95 % do peso, inferior a 2 polegadas <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> ).
CDR – 4 (pó)	Combustível processado até à forma de pó com uma granulometria tal que 95 % em peso do material passa por um crivo de 10 mesh (0.035 polegadas <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )).
CDR – 5 (densificado)	Combustível densificado sob a forma de pellets, cuvetes, briquettes ou outros. A popularidade desta categoria deve-se essencialmente à facilidade e redução de custos de transporte e armazenamento e ainda à maior adaptabilidade aos processos de combustão.
CDR – 6	Combustível derivado de resíduos processado até à fase líquida.
CDR – 7	Combustível derivado de resíduos processado até à fase gasosa.

A título ilustrativo apresentam-se no Quadro 2.7 algumas especificações utilizadas por cimenteiras em diversos países.



Quadro 2.7 Especificações utilizadas pelas cimenteiras em vários países (adaptado de European Commission, 2006)

Parâmetros	Unidades	Reino Unido	Flandres <sup>1</sup> (Região Belga)	Itália <sup>2</sup>	Nova Zelândia <sup>3</sup>
Poder calorífico	MJ/kg	23-29	>15	>15	
Separação água/solvente		Não detectável			
Humidade	%			<25	
S total	%	<0,3	<0,4	<0,6	0,1 – 2,8
Cl total	%	<2	<0,5	<0,9	0,03 – 0,76
F, Br, I total	%	<0,5			
F	%		<0,1		
Br, I total	%		<0,01		
N total	%		<1,0		
Al	ppm				10 - 1000
As	ppm	<50	<10	<9	<50 - 60
Be	ppm		<1		
Cd	ppm		<10		<10 - 20
Cd+Tl	ppm	<40			
Cd+Hg	ppm			<7	
Co	ppm	<100			
Cr	ppm	<200		<100	<10 - 80
Cu	ppm	<500		<300 <sup>4</sup>	<10 - 165
Hg <sup>4</sup>	ppm	<20			<10
Hg, Tl	ppm		<2		
Mn	ppm	<250		<400	
Ni	ppm	<50		<40	
Pb	ppm	<500	<200	<200 <sup>5</sup>	10 - 1080
Sb	ppm	<50			
Sn	ppm	<100			
V	ppm	<50	<200		
Zn	ppm		<500		108 - 3670
Sb, As, Cr, Co, Cu,	ppm	<1800			
Teor em sólidos e cinzas	%	Depende do tipo de combustível		<20	
Conteúdo em PCB					<10
Outros		Depende do tipo de combustível			

<sup>1</sup> Foi comunicado que não existem cimenteiras a operar na Flandres

<sup>2</sup> Um produtor de CSR reportou produzir o combustível com as seguintes características: poder calorífico superior a 18,8 MJ/kg, humidade inferior a 20%, cloro total inferior a 1 % e teor em cinzas inferior a 6%

<sup>3</sup> Para óleos usados utilizados em cimenteiras

<sup>4</sup> Valores inferiores foram reportados (2 – 5 ppm caso a instalação possua filtros de mangas com carvão activado e inferior a 1 ppm se estes equipamentos não estiverem instalados) embora não tenha sido feita referência a nenhum país ou instalação

<sup>5</sup> Refere-se apenas a chumbo volátil

<sup>6</sup> Refere-se apenas a compostos de cobre solúveis

Nas cimenteiras, maiores consumidores de combustíveis alternativos, os CSR podem ser utilizados em duas zonas. A primeira, é a sua adição no queimador principal, em simultâneo com outros combustíveis. A segunda, é a adição no pré-calcinador, junto com as matérias primas. No caso da primeira opção os CSR são transportados por via pneumática, o que implica que o combustível terá de cumprir alguns requisitos adicionais no que respeita à forma e dimensão das partículas (Mrotzek *et al.*, 2008).

### **2.5.2 Verificação de Conformidade**

Para se classificar um determinado CSR é necessário proceder à avaliação do mesmo num período mínimo de 12 meses durante o qual exista um sistema de garantia da qualidade. Para o efeito dever-se-á criar lotes cuja dimensão não deverá ser superior a um décimo da quantidade produzida em 12 meses, embora se deva ter em conta se existem variações significativas dos materiais a processar (CEN, 2006a).

Por cada lote deve proceder-se a uma análise, aos parâmetros estabelecidos pelo sistema de classificação, que no caso da determinação de mercúrio deverá ser efectuada em triplicado. O operador deverá ainda reter um duplicado da amostra recolhida para testemunho, caso seja necessário (CEN, 2006a).

Além da classificação, segundo a metodologia acima descrita, é ainda necessário, o operador ou o consumidor, estabelecerem uma especificação que contenha além da descrição do produto (origem, forma, diâmetro) alguns parâmetros físico-químicos (teor em cinzas, humidade, poder calorífico, cloro, metais pesados). Uma especificação mais completa pode ainda incluir conteúdo em biomassa, composição, densidade, entre outras (CEN, 2006a).

### 3. PRODUÇÃO DE CDR – TECNOLOGIAS EXISTENTES

Segundo Spencer *et al.* (2000), a produção de CDR a partir de resíduos conduz a um aumento do tempo de vida útil dos aterros e à redução de gases de efeito estufa.

A produção de CDR que respondam às necessidades caloríficas que deles se esperam, exige linhas de produção tecnologicamente avançadas. O somatório destas operações fazem com que a relação entre a quantidade inicial de resíduos e a quantidade de CDR produzida seja de algum modo comprometida pela exigência de qualidade dos CDR (Caputo *et al.*, 2002a). Rotter *et al.*, 2004 acrescentam que outro dos objectivos do tratamento mecânico de resíduos é a redução da concentração das substâncias perigosas, contidas nos resíduos, através da concentração dessas substâncias em outros fluxos do processo que não o combustível.

Em suma, a produção de CDR com elevado poder calorífico e qualidade exige linhas de produção muito complexas, o que se traduzirá em perdas de massa significativas, afectando consecutivamente o rácio entre a quantidade de CDR produzida e a massa de resíduos à entrada (Caputo *et al.*, 2002a).

#### 3.1 Processos de Produção

A produção de CDR pode ser estratificada em várias etapas, não existindo porém um processo "standard". Como resultado, em função das características de qualidade a respeitar, e da tipologia dos resíduos, diferentes processos e metodologias podem ser aplicadas. As características mais relevantes utilizadas no tratamento dos resíduos são a densidade, a forma, a susceptibilidade magnética e a condutividade eléctrica dos materiais (Glorius *et al.*, s.d.).

Na concepção de uma linha de produção é essencial manter presente que os resíduos são misturas heterogêneas de materiais, por vezes muito complexas. A produção deve portanto começar pela homogeneização do material de partida, a matéria-prima, através de metodologias e tecnologias relevantes e aplicáveis. Consequentemente cabe ao produtor do CDR reduzir esta heterogeneidade através de tecnologia e pela adaptação de vários processos (Glorius *et al.*, s.d.).

De um modo resumido é possível encontrar, em unidades de produção de CDR, parte ou todas as operações unitárias abaixo listadas e definidas através do diagrama seguinte (Figura 3.1).

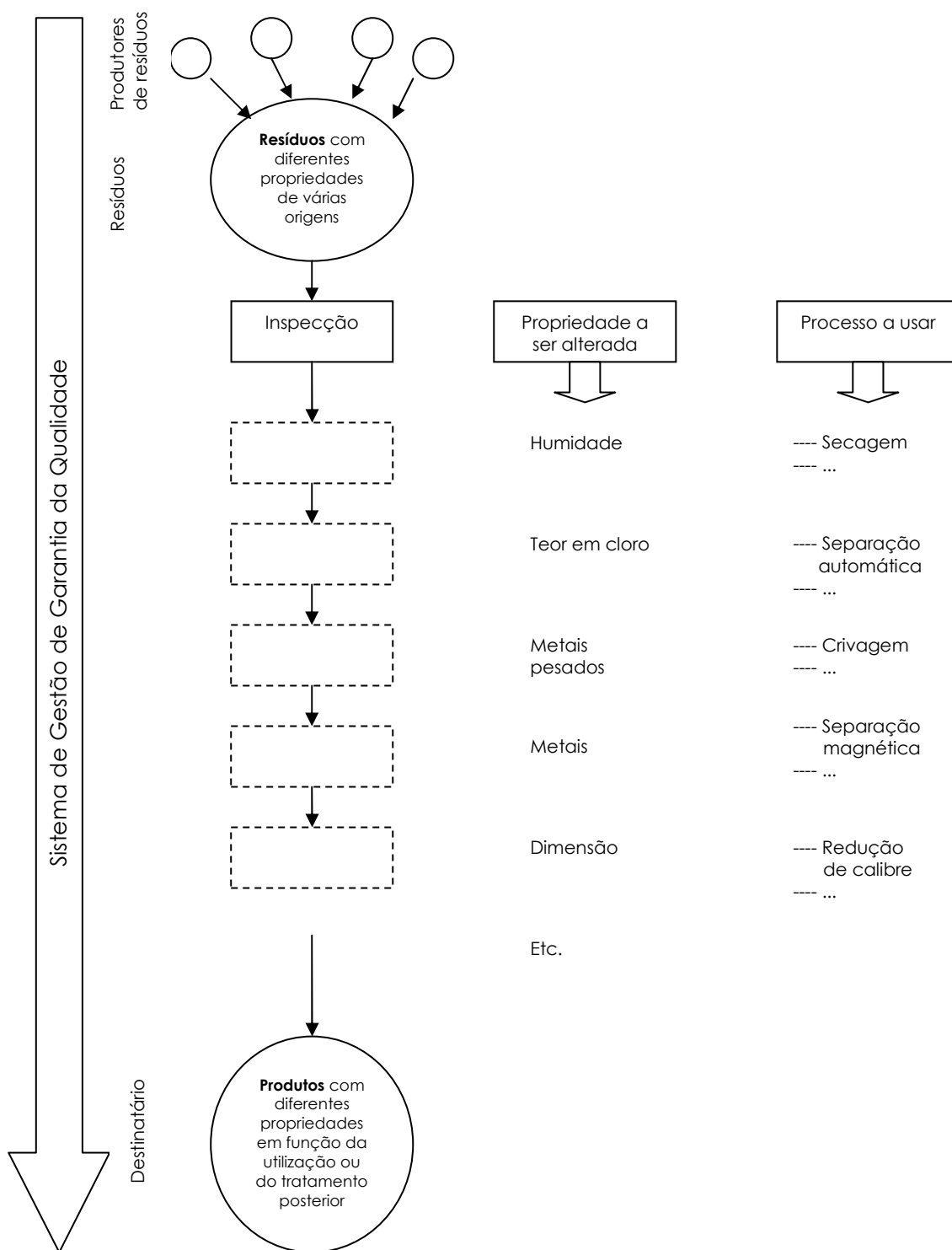


Figura 3.1 Esquema de produção de CSR (adaptado de Glorius *et al.*, s.d.)

Ainda a título de exemplo apresenta-se no Quadro 3.1 algumas das deficiências mais comuns detectadas na qualidade do produto, que podem ter impacto no consumidor final, e as respectivas tecnologias existentes que permitem corrigi-las (Roos *et al.*, 2007)

Quadro 3.1 Tecnologias para corrigir desvios à qualidade do produto (adaptado de Roos *et al.*, 2007)

Deficiências no processamento ou na qualidade do produto	Processamento recomendado
Deficiências na combustão devido à granulometria do material	Trituração
Conteúdo em alumínio demasiado elevado	Separador por correntes de Eddy
Deficiente separação de aço	Separador de metais Operações de separação de sólidos rígidos
Teor em cloro muito elevado	Separador por Infra-vermelho
Conteúdo em inertes demasiado alto	Crivagem fina
Matéria-prima ou produto final muito húmido	Secagem

Na instalação abordada neste estudo a linha de produção de CDR foi sendo ajustada em função das necessidades e do conhecimento da tipologia dos resíduos, pelo que, o estudo de caracterização exposto nesta dissertação incidiu sobre duas linhas distintas correspondente a fases temporalmente separadas por um ano, 2007 e 2008 (Figuras 3.2 e 3.3).

Os resíduos processados na instalação têm a sua origem essencialmente em actividades de logística, comércio e gestão de resíduos embora em alguns casos específicos tenham origem industrial. Note-se porém que as fracções de origem puramente industrial e monomaterial são submetidas a uma prévia análise, para avaliação das características e da possibilidade de introdução como matéria-prima, no processo produtivo. Em 2007 foram processados, em quantidade significativa, no decorrer do período em análise, resíduos correspondentes aos códigos LER 070299, 080499, 090108, 150101, 150102, 150105, 191212 e 200301, sendo a maior quantidade proveniente do LER 191212. Em 2008, dado o aumento da actividade de produção de CDR, para além dos referidos para 2007 foram adicionalmente introduzidos, em quantidade significativa, os resíduos com os seguintes LER: 020299, 040209, 070213, 120199, 191210, 200199. A maior quantidade deveu-se contudo aos resíduos correspondentes ao LER 191212, por serem resíduos provenientes de unidades de triagem de operadores de gestão de resíduos.

Para melhor enquadramento apresentam-se no Apêndice 1 as categorias dos códigos LER correspondentes aos resíduos processados na instalação de produção de CDR.

**2007**

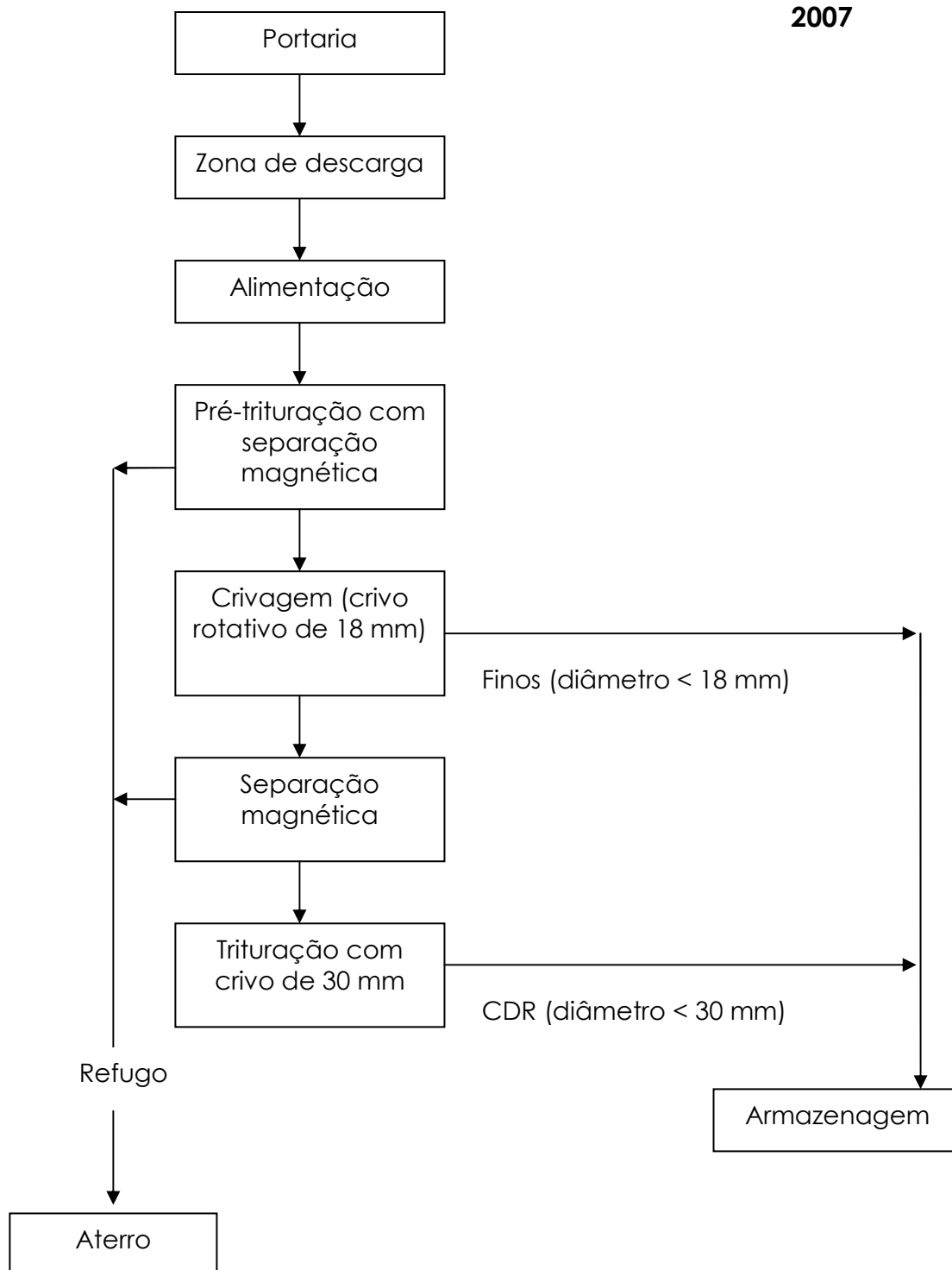


Figura 3.2 Esquema representativo da linha de produção em 2007

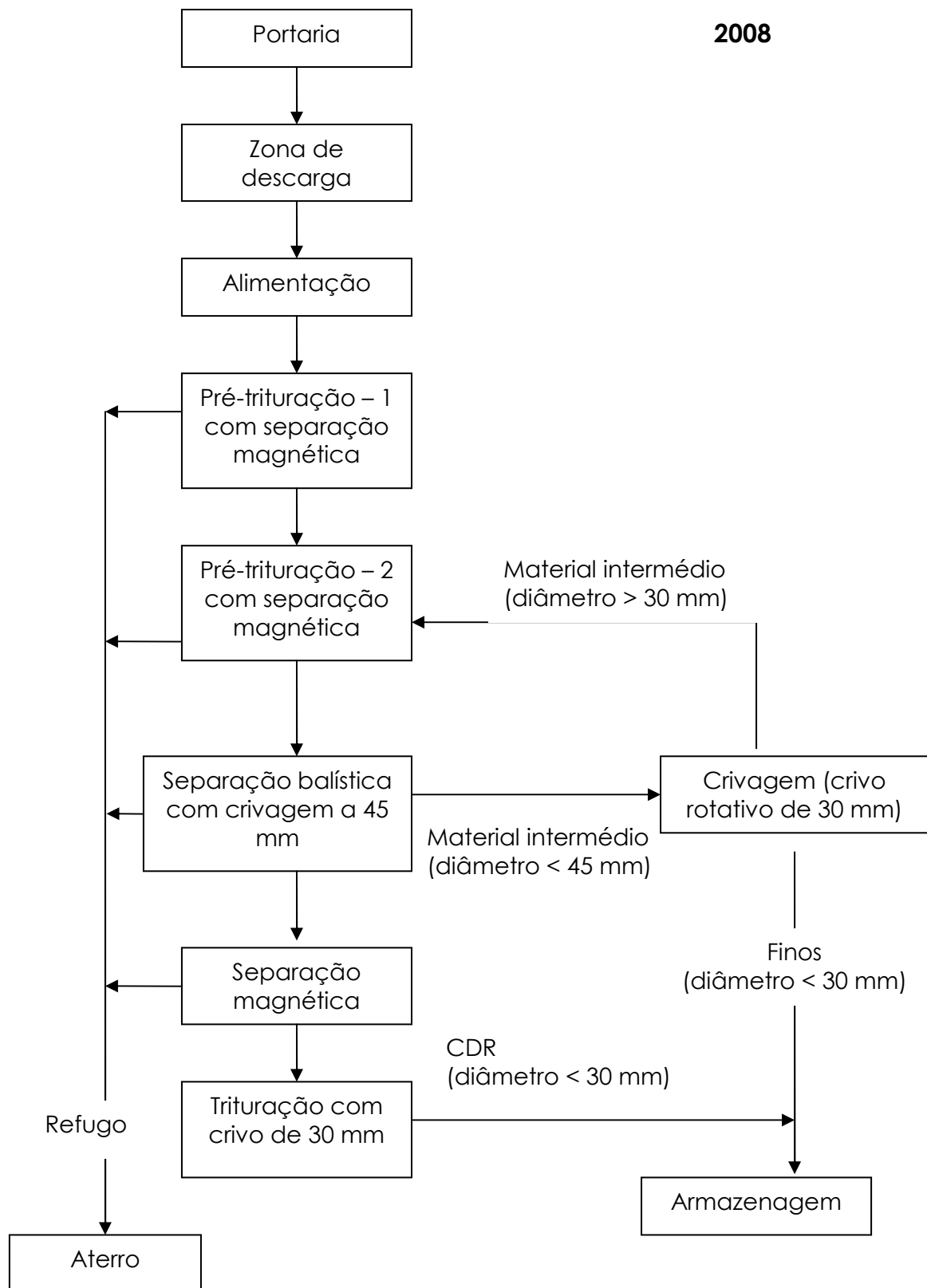


Figura 3.3 Esquema representativo da linha de produção em 2008

Os materiais em estudo, nos dois anos, foram os Finos, a 18 e a 30 mm, e o CDR a 30 mm, à saída do crivo rotativo (*trommel*) e do triturador respectivamente. Em 2007 a fracção de "Finos" era, em volume, cerca de 25 % do CDR e em 2008 aproximadamente 30 %. Nos Finos apenas foi efectuada a caracterização do teor em biomassa.

Nos parágrafos seguintes serão definidos mais aprofundadamente cada um dos passos descritos anteriormente, alguns dos quais existentes nas linhas em estudo.

1. Zona de recepção
2. Pré-triagem
3. Alimentação
4. Redução de calibre
5. Separação de metais
6. Crivagem
7. Classificação por ar
8. Separação balística
9. Separação por infra-vermelhos
10. Triagem automática
11. Compactação/Peletização
12. Armazenagem
13. Estabilização
14. Secagem
15. Exaustão e tratamento de gases
16. Tratamento de águas residuais
17. Carga e transporte

No Apêndice II apresentam-se alguns modelos de linhas de produção constantes da bibliografia consultada.

### **3.1.1 Operações Unitárias**

#### **3.1.1.1 ZONA DE RECEPÇÃO/ PLATAFORMA DE DESCARGA**

A primeira etapa do circuito dos resíduos, em qualquer instalação, é a portaria, que deverá incluir uma balança, e em seguida a plataforma de descarga. No decorrer deste circuito deverá ser possível ao operador, recolher amostras da carga ou efectuar uma pré-triagem dos materiais indesejáveis (Glorius *et al.*, s.d.).



A zona de recepção é geralmente coberta, fechada e munida de portões de modo a evitar a libertação para o exterior de odores, poeiras ou ruído. Esta zona deverá ainda possuir um sistema de ventilação para extracção de ar e evitar paralelamente a libertação de odores. Para fracções específicas de resíduos estes acessórios poderão ser dispensáveis nomeadamente para resíduos que contenham um baixo teor em matérias facilmente degradáveis e elevada humidade. Como medida de segurança a zona de recepção poderá ainda estar equipada com sistemas de combate a incêndio, devido ao risco associado à auto-ignição dos resíduos ou à degradação biológica, uma vez que esta implica um aumento local da temperatura (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.2 PRÉ-TRIAGEM**

O processo e a forma de alimentação são cruciais devido à influência na qualidade do produto final. Deste modo deve garantir-se a homogeneização da matéria-prima e a eliminação das cargas (potencialmente) contaminadas que comprometeriam a qualidade do CSR. Alguns dos mecanismos que facilitam este processo são o controlo rigoroso das entregas nomeadamente através da recolha e caracterização de amostras e um conhecimento mais aprofundado da origem. Todavia, é previsível que ocorram desvios ao acordado, pelo que é conveniente o envolvimento dos responsáveis na tarefa da selecção e controlo dos materiais. Em algumas instalações poderão ainda existir diferentes locais de recepção em função da tipologia dos resíduos, resíduos de origem doméstica, comercial, industrial, etc. (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.3 ALIMENTAÇÃO**

Esta operação destina-se a conduzir os materiais até à linha de produção e é geralmente realizada com garras, acopladas a máquinas giratórias, ou pás carregadoras. As cabines destes equipamentos possuem geralmente filtros de partículas ou encontram-se pressurizadas, por forma a garantir as condições de trabalho dos operadores (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.4 TRITURAÇÃO**

A maioria dos resíduos sólidos apresentam baixa densidade a granel e são constituídos por diversos materiais de várias formas e dimensão (Cheremisinoff, 2003). O processo de trituração destina-se essencialmente a reduzir o calibre do material e o seu objectivo depende das etapas seguintes de produção ou dos requisitos dos vários subprodutos, caso existam (Glorius *et al.*, s.d.). Existem vários factores que interferem no calibre das partículas

após a trituração, entre elas encontram-se a composição dos resíduos, o caudal, o teor em humidade e o tipo de equipamento (Diaz *et al.*, 2006).

O posicionamento da etapa de trituração, assim como o tipo e o calibre correspondente, influencia directamente o desempenho e a eficiência do equipamento de separação a jusante (Diaz *et al.*, 2006). Em função do equipamento e da forma de processamento a trituração divide-se em:

1. Destroçamento para desintegração dos vários materiais;
2. Produção de fracções com uma determinada gama de granulometrias.

O processo de trituração pode ainda ser classificado como grosseiro, médio ou fino (< 1 mm). A maioria das instalações de produção de CSR utiliza uma trituração grosseira, uma vez que a produção de CSR com granulometria inferior a 1 mm implica elevado consumo energético (Glorius *et al.*, s.d.). Alguns estudos experimentais indicam que se o consumo energético para produzir material, com um diâmetro nominal a 90%, de 10 cm, é cerca de 6kWh/tonelada para alcançar 1 cm é da ordem de 45 kWh/tonelada (Diaz *et al.*, 2006).

#### **3.1.1.4.1 Moinho de martelos**

Os moinhos são utilizados na trituração de materiais rígidos e quebradiços, como seja a sucata proveniente dos equipamentos eléctricos e electrónicos. Os moinhos de martelos são constituídos por um corpo em aço e um rotor com martelos oscilantes acoplados (Figura 3.4). Os martelos alinham-se radialmente em resultado de um rotor em movimento (Glorius *et al.*, s.d. e Mewa, 2009). O material ao embater nos martelos é reduzido a pequenas fracções através de colisão e impacto (Pichtel, 2005).



Figura 3.4 Moinho de martelos (Mewa, 2009)

A base do moinho possui um crivo, pelo qual o material triturado é removido, com uma granulometria proporcional à abertura de malha. Existem diversos parâmetros que podem ser alterados num moinho de martelos e que influenciam a qualidade da trituração, são eles, a velocidade de rotação, a abertura de malha no crivo, a forma e a distância entre os martelos, a potência do motor, a temperatura do material na alimentação e a tipologia dos resíduos (Glorius *et al.*, s.d.).

A velocidade de rotação dos moinhos de martelos variam no intervalo de 700 a 3000 rpm e a potência de 500 a 700 kW (Pichtel, 2005).

#### 3.1.1.4.2 Destroçadores

Os destroçadores são muito utilizados em instalações de produção de CSR/CDR dada a larga aplicabilidade com vários resíduos desde origem doméstica, comercial ou industrial (Komptech, 2009). Estes equipamentos são constituídos por um ou dois rotores em movimento circular lento (aproximadamente 10 – 30 rpm) possuindo cada rotor vários “dentes” cravados alternados entre si, o que permite aplicar sobre os materiais uma tensão de corte longitudinal e transversal, para além de um efeito de destroçamento (Figura 3.5) (Glorius *et al.*, s.d. e Komptech, 2009). A dimensão das partículas do material à saída depende da distância entre os dentes, da respectiva orientação e da quantidade processada (Pichtel, 2005).



Figura 3.5 Destroçador (Komptech, 2009 e Doppstadt, 2009)

A alimentação pode ser efectuada de forma automática desde que o material não seja demasiado volumoso. Em situações de sobrecarga, em que existam componentes indesejáveis, o rotor pára e inverte o movimento. Caso o problema persista os materiais terão de ser removidos manualmente (Glorius *et al.*, s.d.).

#### 3.1.1.4.3 Destroçadores de rotor único com crivo

Destroçadores com um rotor são igualmente de aplicação genérica com uma única diferença relativamente ao anterior, a de possuírem apenas um rotor, que opera com maior velocidade de rotação (90 a 160 rpm). A geometria das peças de corte, lâminas, encontram-se fixas no rotor o que conduz a diferentes aplicações nomeadamente em sucata electrónica, madeira, têxteis, embalagens plásticas e plástico da indústria automóvel. O corpo do destroçador, em aço, contém no interior um rotor equipado com lâminas, e um crivo, que envolve o rotor. Na base do corpo existem ainda lâminas estacionárias, a uma distância de aproximadamente 0,1 mm, das lâminas do rotor. O material é por conseguinte submetido a uma tensão de corte, entre as lâminas, o que permite obter uma redução de calibre. O diâmetro do crivo influencia largamente a quantidade produzida devido ao tempo de retenção no equipamento (Glorius *et al.*, s.d.).

#### 3.1.1.4.4 Trituradores

Os trituradores (Figura 3.6) são equipamentos de elevada rotação, aproximadamente 400 a 600 rpm. Aplicam-se na trituração de diversos materiais, plásticos, têxteis, borrachas, embora sejam particularmente sensíveis a materiais ferrosos (Glorius *et al.*, s.d.)

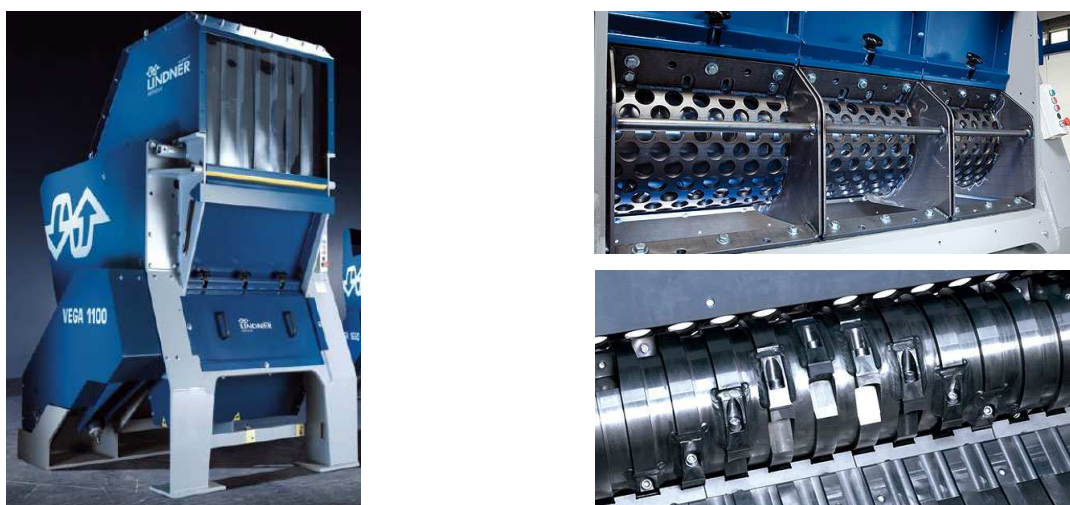


Figura 3.6 Triturador (Lindner, 2009)

O corpo do triturador está equipado por um rotor com várias lâminas incorporadas, de pequena dimensão, o que implica algumas vantagens porque permite uma fácil substituição das lâminas danificadas. À semelhança dos destroçadores, estes equipamentos possuem igualmente um conjunto de lâminas fixas ao corpo do equipamento, passíveis de ajuste, à distância aproximada de 0,1 mm. Os trituradores possuem ainda um crivo pelo qual o material passa antes de ser descarregado (Figura 3.6). O estado em que se encontram as lâminas, que se pretende sejam de aço inox é de extrema importância para o consumo de energia, uma vez que estando danificadas, a tensão de corte aplicada no material é substituída por tracção e destroçamento (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.4.5 Destroçador com motor exterior**

Estes equipamentos são utilizados na trituração de misturas complexas como resíduos domésticos, madeira e resíduos volumosos. Os destroçadores com motor exterior são máquinas de rotação lenta com uma velocidade rotacional de 1 m/s. Neste processo são aplicadas forças de tracção e rompimento (Figura 3.7). Os equipamentos podem ser projectados com um ou dois rotores, dentados, não sendo destinados a materiais plásticos (Glorius *et al.*, s.d. e Mewa, 2009).



Figura 3.7 Destroçador de rotor exterior (Mewa, 2009)

#### **3.1.1.4.6 Moinho de bolas rotativo**

Este moinho, com um diâmetro aproximadamente três vezes o comprimento, é constituído por um cilindro com topos cónicos. O moinho pode operar com materiais de elevada ou média dureza como sejam os metais, e a redução de calibre é efectuada com o auxílio a bolas de aço. A redução de calibre ocorre devido ao atrito e ao rolar do material sendo aplicado em materiais inertes ou resíduos orgânicos (Glorius *et al.*, s.d.).

### **3.1.1.5 SEPARAÇÃO MAGNÉTICA**

O processo mais comum de separar metais ferrosos dos restantes materiais é recorrendo à separação magnética (Kreith *et al.*, 2002).

Em virtude da separação de metais dos restantes resíduos ser largamente influenciada pelo calibre e a forma dos materiais é necessário, para garantir uma adequada eficiência de separação, combinar várias técnicas de trituração, classificação e separação (Glorius *et al.*, s.d.).

Em regra os separadores magnéticos são colocados após a operação de trituração grosseira ou destroçamento. Esta opção traz particular vantagem nomeadamente quando os materiais são reduzidos a uma dimensão compatível com o funcionamento dos separadores magnéticos tornando possível separar alguns contaminantes, por exemplo etiquetas e rótulos que se encontram agregados aos resíduos metálicos (Diaz *et al.*, 2006).

#### **3.1.1.5.1 Separadores magnéticos**

Os separadores magnéticos extraem os metais ferrosos através da criação de um campo magnético que, à passagem do material, permite que as fracções magnetizáveis sofram uma flexão e sejam separadas. Para além de retirar estes “contaminantes” do processo, os separadores magnéticos servem ainda para recuperar materiais recicláveis com elevado valor comercial como o ferro e o aço. A remoção dos materiais ferrosos permite ainda proteger os equipamentos a jusante e melhorar a qualidade do produto final, não é possível, contudo, garantir a extracção de todos os metais nomeadamente o aço inox e outros, sem as referidas propriedades magnéticas (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.5.2 Separador (magnético) “overband”**

Este tipo de separadores encontram-se geralmente instalados por cima de um transportador, a cerca de 400 mm, e destinam-se a separar em contínuo fracções ferrosas do restante material. O separador poderá ser instalado perpendicular (*cross-belt*) ou longitudinalmente (em linha) acima da trajectória do material (Figura 3.8) (Kreith *et al.*, 2002 e Glorius *et al.*, s.d.).





Figura 3.8 Separador magnético “overband” (Cogelme, 2009)

A segunda opção é preferível porque a remoção dos materiais da corrente é mais eficiente (Kreith *et al.*, 2002 e Glorius *et al.*, s.d.). Caso se opte pela colocação transversal a potência do separador terá de ser muito superior devido à probabilidade de se ter em linha materiais não magnéticos a cobrir os metais ferrosos.

Não obstante a opção de instalação, é indispensável o material ser posteriormente submetido a uma separação, num separador tipo “tambor”, para a remoção de pequenas fracções ferrosas. Os separadores “overband” apresentam ainda o inconveniente de separar os plásticos com grande superfície em simultâneo com os materiais ferrosos. Este problema pode ser minimizado através do aumento da velocidade do transportador (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.5.3 Separador (magnético) tipo “tambor”**

Os separadores tipo tambor são usados para separar pequenas fracções ferrosas de calibre até 150 mm. Estes equipamentos são constituídos por um sistema magnético estático envolto por um tambor rotativo, feito de aço não magnetizável, de elevada robustez. O campo magnético é garantido por magnetos eléctricos ou contínuos, o que permite dividir os sistemas magnéticos em pólos axiais e verticais e que conduz à formação de campos magnéticos contínuos ou alternos. Os pólos axiais são utilizados quando se pretende uma maior recuperação das partículas metálicas, mesmo as de pequena dimensão. O pólo vertical permite garantir uma maior pureza na fracção metálica recuperada. O magneto é fixo ao eixo do tambor sendo ajustável em função da direcção e tipologia da alimentação (Glorius *et al.*, s.d.).

Estes equipamentos podem operar acima ou abaixo do fluxo de material. A vantagem do fluxo passar acima do tambor é a dos materiais ferrosos entrarem em contacto directo com

o campo magnético, permitindo que mesmo as partículas ferrosas de menor dimensão ou as fracamente magnetizáveis, possam ser removidas (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.5.4 Separador (magnético) tipo “pulley”**

Estes separadores magnéticos são instalados como parte integrante do tapete transportador. À saída do transportador, o material magnético é retido pelo separador, alterando assim a sua trajectória (Kreith *et al.*, 2002).

Estes equipamentos devem possuir um sistema magnético mais potente, de forma a compensar a presença do transportador e são preferencialmente utilizados em instalações onde o espaço é limitado ou que processem uma grande quantidade de material com baixo teor em ferrosos (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.5.5 Separadores de metais não ferrosos por correntes Eddy**

Os separadores por correntes de Eddy são utilizados para a separação selectiva de metais não ferrosos. O princípio de funcionamento tem em conta de que somente os bons condutores eléctricos induzem uma diferença de potencial num campo magnético alterno, gerando uma corrente eléctrica à qual está associado um campo magnético oposto. Este processo conduz à rejeição dos metais não ferrosos do restante material. (Manser *et al.*, 1996 e Kreith *et al.*, 2002).

A capacidade de rejeitar os metais depende do diâmetro, que deverá situar-se entre 3 e 150 mm, da forma, os materiais planos e compridos são mais difíceis devido a gerarem fracas correntes, da resistência eléctrica e da consistência. Geralmente estes separadores contêm um magneto em rotação colocado dentro de um tambor em fibra de vidro. O tambor magnético é constituído por magnetos permanentes com polaridade alternada, o que permite na zona de rejeição criar um campo magnético variável com uma frequência que poderá atingir 1000 Hz (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.5.6 Separadores metálicos**

Estes separadores aplicam-se quando se pretende separar simultaneamente metais ferrosos e não ferrosos e o conteúdo em metais no material a processar é baixo, ou os restantes separadores metálicos apresentam baixa eficiência, ou ainda existe a necessidade de proteger outros equipamentos a jusante nomeadamente trituradores. Genericamente os separadores metálicos funcionam com uma bobina detectora colocada transversalmente



ao sentido do fluxo. Quando uma partícula atravessa o campo magnético alternado de elevada frequência, gerado pela bobina, perturba o campo, sendo esta informação transmitida por um controlador electrónico que originará um jacto de ar à passagem da partícula metálica, arrastando-a para fora da corrente (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.6 CLASSIFICAÇÃO / CRIVAGEM**

A operação de crivagem consiste na separação de uma mistura de materiais em duas ou mais fracções em função da diferença de granulometria das partículas que constituem a mistura (Diaz *et al.*, 2006). A crivagem é uma etapa fundamental antes e/ou depois da redução de calibre (Glorius *et al.*, s.d.). A colocação da crivagem a montante de uma operação de corte tem a vantagem de separar previamente inertes e outros materiais abrasivos, evitando assim o desgaste prematuro do equipamento (Pichtel, 2005).

A classificação por crivagem é aplicada em linhas de produção de CSR/ CDR sempre que:

1. O produto é utilizado em função do seu calibre;
2. É necessário separar as fracções finas;
3. A trituração prévia já produziu uma fracção com o diâmetro desejável, pelo que apenas as fracções maiores deverão prosseguir;
4. Requer-se a concentração de alguns materiais, por exemplo, a técnica poderá ser utilizada para separar as fracções finas que geralmente apresentam um conteúdo elevado em metais pesados. É reconhecido que as partículas de dimensão mais pequena apresentam um conteúdo em metais pesados superior, quando comparado com a fracção grossa (Glorius *et al.*, s.d.).

Note-se porém que embora a crivagem ofereça muitas vantagens no processamento de resíduos não é contudo uma técnica adequada para a redução de alguns contaminantes importantes nomeadamente o cloro (Glorius *et al.*, s.d.).

##### **3.1.1.6.1 Crivos rotativos**

Os crivos rotativos são utilizados em misturas de resíduos com superfície plana como sejam o material de embalagem, resíduos domésticos e outras fracções do comércio e indústria. As vantagens desta técnica, livre de ruído e vibrações, é a homogeneização do material e a remoção de pequenas partículas aderentes à superfície dos materiais, os finos (Glorius *et al.*, s.d.). Diaz *et al.* (2006) relataram evidências experimentais em que a crivagem rotativa, vulgarmente efectuada por um *trommel*, beneficia eficazmente a fracção combustível dos

resíduos. Os factores preponderantes na eficiência de um crivo rotativo (*trommel*) são a abertura de malha, o caudal, o comprimento, o diâmetro, o ângulo de inclinação e a velocidade de rotação (Diaz *et al.*, 2006).

Este tipo de equipamentos consiste num tambor rotativo, colocado numa posição inclinada (aproximadamente 5°), com crivos (Kreith, 2002). O tambor é induzido axialmente sendo o material transportado por via do atrito e da força centrífuga ao longo dos crivos, dependendo da velocidade de rotação (Glorius *et al.*, s.d.). Para se atingir a qualidade desejável para o produto, os tambores possuem um diâmetro que varia, em média, entre 2,5 e 3 m e um comprimento de 7 a 9 m (Manser *et al.*, 1996). Em função da velocidade de rotação o crivo pode operar em modo “cascata” ou “catarata” (Figuras 3.9 e 3.10).

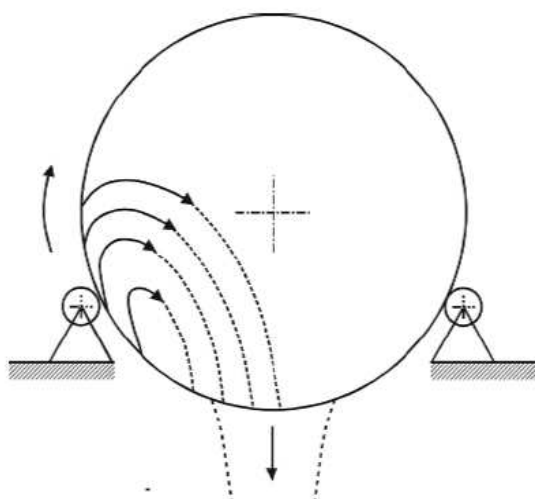


Figura 3.9 Crivo a operar em modo cascata (Glorius *et al.*, s.d.)

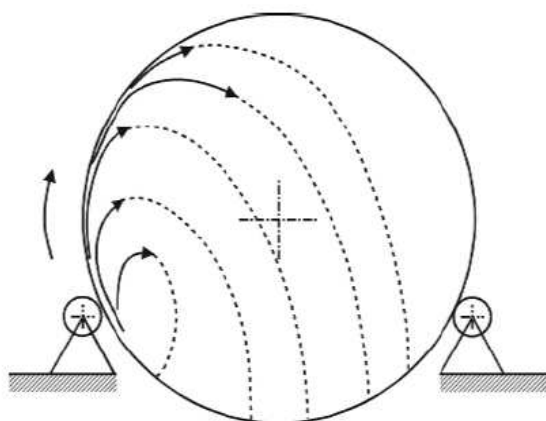


Figura 3.10 Crivo a operar em modo catarata (Glorius *et al.*, s.d.)

O efeito cascata corresponde a uma velocidade lenta, na qual o material rola sobre si mesmo. A um aumento de velocidade, que corresponderá ao efeito catarata, o material é

transportado por uma área de crivagem maior. A velocidade ideal de funcionamento destes equipamentos é de 70 % da velocidade crítica no modo catarata. A desvantagem do modo cascata é a geração de rolhões, que impedem a remoção dos finos. Como forma de minimizar este problema ou a presença de partículas de pequena dimensão na alimentação, estes equipamentos podem ter acopladas escovas, que permitem a limpeza em contínuo dos crivos (Glorius *et al.*, s.d.). A capacidade óptima de funcionamento dos crivos rotativos corresponde, no máximo a 10 % do volume total do tambor, pelo que a alimentação deve ser efectuada de modo consistente com o requisito da volumetria (Manser *et al.*, 1996).

Outra particularidade é que materiais homogêneos de maior densidade como o vidro ou areia passam através dos crivos mais rapidamente do que partículas de menor densidade, com uma relação área-volume elevada. Enquadram-se nesta tipologia o plástico, o alumínio e o papel (Diaz *et al.*, 2006). Na Figura 3.11 é possível visualizar o anteriormente descrito.

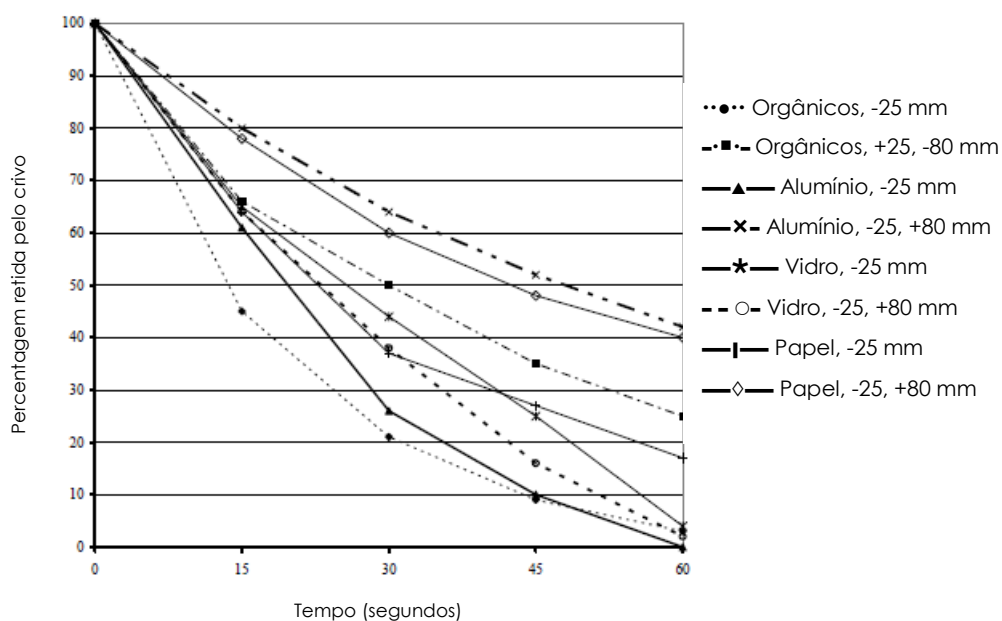


Figura 3.11 Taxa de remoção das fracções num pré-tommel, operando a 0° de inclinação (adaptado de Diaz *et al.*, 2006)

### 3.1.1.6.2 Crivos vibratórios

Existem dois tipos de crivos vibratórios em função da característica do movimento: linear ou circular. O princípio de funcionamento destes crivos consiste no transporte do material por

via de movimentos oscilatórios e em simultâneo permitir a passagem de material com diâmetro inferior, às aberturas cravadas no plano que constituem o crivo (Glorius *et al.*, s.d.).

### **3.1.1.7 CLASSIFICAÇÃO POR AR**

Diaz *et al.* (2006) definem a classificação por ar como um processo no qual uma mistura de partículas de composição e dimensão variada é suspensa numa corrente gasosa, de modo a permitir que as mesmas sejam segregadas em função das suas características aerodinâmicas.

A classificação por ar permite separar materiais sólidos, secos, em função da densidade específica, forma e dimensão das partículas. Este processo requer geralmente que o material seja submetido a um pré-tratamento, de modo a concentrar uma determinada característica, como forma de minimizar a interferência a simultaneidade de todas as características. A principal aplicação destes equipamentos é a separação de misturas contendo fracções leves de plásticos ou papel (Glorius *et al.*, s.d.).

O princípio de funcionamento deste classificador baseia-se em passar uma mistura de materiais por uma corrente de ar com velocidade tal que permita uma separação efectiva (Kreith *et al.*, 2002). As partículas mais leves, que correspondem às de menor densidade específica, são arrastadas e por conseguinte separadas da fracção com maior densidade (Glorius *et al.*, s.d.).

Existem diversos factores que determinam o tipo de classificador por ar e a sua eficiência, entre eles enumeram-se a) a distribuição granulométrica, a forma, a densidade e a humidade das partículas; b) a direcção do fluxo, a velocidade, e a densidade do gás; c) o diâmetro, a forma e a superfície no interior do classificador; d) o caudal de alimentação; e) a homogeneidade da matéria-prima; f) a relação ar/sólidos; g) capacidade do equipamento. (Diaz *et al.*, 2006).

Os classificadores por ar dividem-se em função da direcção do fluxo de ar, que pode ser em contra-corrente ou transversal. Num classificador por contra-corrente, o ar tem um fluxo ascendente, e simultaneamente o material é alimentado através de um tapete transportador para o interior do equipamento, o que permite que a fracção leve é transportada pneumáticamente pela zona de separação até à conduta de saída (Glorius *et al.*, s.d.).

Nesta perspectiva os ciclones são os equipamentos vulgarmente utilizados para separar materiais por classificação por ar. Os ciclones são constituídos por um cilindro metálico com um fundo cónico e uma entrada de ar tangencial. Os materiais quando entram no ciclone descrevem um movimento helicoidal descendente sendo descarregados pela base. A saída do ar é efectuada por uma conduta ligada a um ventilador. A velocidade do ar utilizada na separação de papeis ou plásticos flexíveis é aproximadamente 11 a 12 m/s obtendo-se, para fracções leves uma recuperação mínima de 70 %. Dada a especificidade dos processos de valorização por vezes é necessário redimensionar os classificadores por ar de modo a ajustar às variações, por exemplo da dimensão das partículas (Glorius *et al.*, s.d.).

Outra versão de um classificador por ar surge conjugada com um tambor rotativo. Este equipamento é constituído por uma placa e um cilindro em movimento circular. A separação resulta do comportamento ao impacto dos diferentes materiais. Os materiais rígidos seguem a trajectória descendente enquanto os flexíveis mantêm-se agarrados ao cilindro e continuam o movimento rotativo. O processo deve ser completado por um soprador por ar em contra-corrente ou transversal. O intervalo da distribuição granulométrica das partículas deve ser estreito por forma a otimizar a separação (Rotter *et al.*, 2004).

#### **3.1.1.8 SEPARAÇÃO BALÍSTICA**

A introdução de separadores balísticos na Europa remonta aos anos 70 e 80, onde foram primeiramente introduzidos na perspectiva de uma alternativa mais económica aos classificadores por ar (Manser *et al.*, 1996).

Os separadores balísticos não separam os materiais em função da dimensão da partícula ou da densidade, como os classificadores por ar, mas impelem os componentes rígidos, elásticos e arredondados a saltarem e enriquecerem a fracção de pesados. Os materiais leves e planos seguem uma trajectória ascendente, com pequenos movimentos circulares. A superfície do separador balístico é constituída por um crivo que permite efectuar a separação de uma terceira fracção, os finos, que são deste modo separados através de orifícios existentes na superfície do separador (Rotter *et al.*, 2004).



Figura 3.12 Separador balístico (Komptech, 2009)

Uma das tipologias mais utilizadas de separadores balísticos são os oscilantes. Estes equipamentos contêm um grupo de placas perfuradas instaladas, ao longo de todo o comprimento, assentes em veios que oscilam, a uma velocidade considerável, com movimentos circulares (Figura 3.12). Cada uma das placas é individual e está assente no seu próprio veio, o que conduz a que tenham um movimento independente e desfasado.

Como separação e classificação de resíduos em bruto os separadores balísticos oscilantes são consideravelmente eficazes contudo a sua eficiência diminui com materiais previamente triturados. Nestas circunstâncias poderá perder-se algum material combustível através do crivo. Por outro lado, os materiais pesados planos poderão seguir a trajectória ascendente, não sendo por conseguinte removidos, caso as matérias leves formem uma camada superior sobreposta. Em regra os separadores balísticos não são aconselhados para separar metais principalmente porque não fazem a distinção entre as partículas grandes e pesadas e as pequenas (Manser *et al.*, 1996).

#### **3.1.1.9 ESPECTROSCOPIA POR INFRA-VERMELHO (NIR)**

A espectroscopia por infra-vermelho é uma técnica que tem sofrido desenvolvimento nos últimos anos e se destina a separar cartão ou plásticos. O material é alimentado através de um tapete transportador, que opera a várias velocidades, e contém dois ascensores, com lâmpadas de halogéneo, e um detector localizado acima do tapete (Figura 3.13). O detector consiste num sensor NIR que efectua um varrimento a toda a largura do tapete e envia o espectro, dos diferentes materiais, para um processador. O sinal obtido é comparado com o constante de uma base de dados. A análise inclui ainda a posição do material no tapete. A triagem é realizada através de um sistema de jactos de ar, distanciados aproximadamente 30 mm entre si, no final do tapete transportador. Cada jacto de ar é alimentado através de um compressor e conduzido por válvulas magnéticas. Quando a partícula a separar é detectada, o processador envia um sinal que permite actuar um ou mais jactos de ar, que consecutivamente arrastam o material para fora do circuito. Este sistema é selectivo para cartão, papel, e mistura de plásticos como polietileno,

polipropileno, poliestireno, PET ou PVC e pode ser aplicado em partículas com dimensões entre 30 e 300 mm (Glorius *et al.*, s.d. e Titech, 2009).



Figura 3.13 Separação por Infra-vermelho  
(Titech, 2009)

A capacidade de processamento de material de embalagem com calibre entre 50 e 200 mm é de 1 a 6 toneladas/h. A separação de materiais escuros não é possível uma vez que a radiação infravermelho é completamente absorvida, pelo que nenhuma radiação é reflectida para o sensor (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.10 TRIAGEM AUTOMÁTICA**

A triagem automática consiste em fazer passar o material por uma calha vibratória, que alimenta um tapete transportador. Em seguida, um detector de metais, colocado por baixo do tapete, envia um sinal específico para cada partícula, a um computador. Paralelamente é colocado um detector óptico, acima do tapete transportador, que analisa a partícula e envia a informação ao computador. Estas informações em paralelo são analisadas por um software apropriado, para em seguida o computador emitir um impulso que acciona os bicos dos sopradores e consequentemente expulsar ou permitir que a partícula passe (triagem positiva ou negativa). Actualmente os sistemas de triagem automática permitem combinar vários sensores e por conseguinte analisar várias propriedades em simultâneo (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.11 COMPACTAÇÃO/PELETIZAÇÃO**

A compactação é a agregação de partículas com diferentes granulometrias até se obter fracções de maiores dimensões com uma densidade superior. A peletização define-se como a produção de grânulos cilíndricos, a partir de materiais a granel, através de compressão, moldagem e arrefecimento. A granulação é a produção de grânulos.

As principais vantagens desta técnica é a redução de volume, o facilitar o doseamento e a alimentação no processo de queima e a redução da emissão de poeiras (Glorius *et al.*, s.d. e Pichtel, 2005). A aglomeração das partículas permite ainda aumentar a quantidade de energia por unidade de volume (Pichtel, 2005).



#### **3.1.1.12 ARMAZENAGEM**

Devido às características dos CSR a zona de armazenagem deve estar equipada com sistemas de detecção e combate a incêndios. No caso da armazenagem de *pellets* não ser efectuada num silo fechado deverá ser instalado um sistema de renovação do ar, para reduzir a presença de compostos voláteis e odores desagradáveis formados, devido à temperatura a que as *pellets* são produzidos (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.13 ESTABILIZAÇÃO**

O processo de estabilização biológica é aplicado essencialmente em instalações de tratamento mecânico-biológico. A estabilização tem essencialmente duas funções, a redução do conteúdo em matéria orgânica e do teor em humidade, o que apresenta vantagens de processamento a jusante e aumento do poder calorífico (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.14 SECAGEM**

Em alguns casos pode ser necessário proceder-se à secagem do material de modo a incrementar o poder calorífico e reduzir a densidade. O processo é realizado em contínuo em fornos rotativos. O calibre do material deverá ser inferior a 100-200 mm para evitar a colmatagem nas condutas de entrada e saída do forno. A temperatura no processo de secagem não deverá exceder os 80°C de modo a evitar a fusão de plásticos (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.15 TRATAMENTO DE GASES**

Nas instalações em que, associado ao processo produtivo, haja emissão de odores ou poeiras deve instalar-se um sistema de ventilação ou mesmo de despoeiramento. Os equipamentos que podem ser utilizados para redução de poeiras são os ciclones, filtros de mangas, precipitadores electrostáticos ou separadores por lamelas. Para tratamento de odores podem instalar-se bio filtros, lavadores de gases, adsorção em carvão activado ou oxidação térmica (Glorius *et al.*, s.d.).

#### **3.1.1.16 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

Existem várias alternativas para tratamento das águas residuais geradas neste tipo de instalações que podem ser desde tratamentos primários, tipo arejamento em lagoas, a tratamentos tipo terciários como por exemplo o recurso a tecnologias de membranas. Independente da opção de tratamento o operador deve garantir que o caudal e a



contaminação da água seja reduzida ao mínimo, devendo para o efeito serem implementadas as seguintes medidas :

- Reciclagem e reutilização da água do processo;
- Limitação da entrada de águas pluviais através da colocação de coberturas ou telhados (Glorius *et al.*, s.d.).

### **3.1.1.17 ARMAZENAMENTO FINAL E TRANSPORTE**

Os combustíveis sólidos recuperados são geralmente armazenados em pilha, contentores ou silos, sendo os últimos responsáveis por causar menos poeiras. O transporte deve ser realizado em contentor fechado para evitar a emissão de poeiras, perdas de material durante o circuito ou que fique molhado, em caso de precipitação (Glorius *et al.*, s.d.).

## **3.1.2 Linhas de Produção e Eficiência**

Além da abordagem às diferentes operações unitárias presentes nos processos de produção de combustíveis, preparados a partir de resíduos sólidos, é igualmente importante perceber a forma como as respectivas operações interagem entre si e o impacto que têm no produto final ou seja a eficiência dos processos.

A primeira etapa na concepção e desenvolvimento de um processo de tratamento mecânico de resíduos, do ponto de vista da engenharia, é ter especial atenção aos seguintes requisitos: a) as características da matéria-prima, que deve estar devidamente caracterizada; b) a especificação dos produtos a recuperar na instalação (Diaz *et al.*, 2006).

Por norma uma linha de produção de CDR deve iniciar-se com uma etapa de trituração ou crivagem, de modo a rentabilizar o equipamento a jusante. Contudo contemplar a montante uma operação de trituração acarreta riscos de paragens não programadas, na perspectiva de que os elementos metálicos ou inertes ou cuja trituração não é possível, não foram ainda removidos. A colocação do mesmo tipo de equipamento, mais de uma vez na linha de produção, não é aconselhável dado que o acréscimo no custo não é compensado pelo aumento da eficiência. São contudo excepção a esta regra, os crivos, uma vez que são um complemento às operações de destroçamento e trituração. Operações de destroçamento e trituração não são redundantes nomeadamente se os requisitos da dimensão final do produto assim o exigirem. A operação de trituração deve ser sempre antecedida por um separador magnético ou um classificador por ar para evitar o desgaste

excessivo do equipamento, devido à presença de sucata metálica. Por último, uma etapa de triagem manual nunca deverá ser colocada em material previamente triturado (Caputo *et al.*, 2002a).

Diaz *et al.* (2006) acrescentam que um dos segredos na concepção de instalações para a obtenção de CDR de elevada qualidade é uma correcta utilização da operação de crivagem na sequência do processamento mecânico. A escolha meticulosa do diâmetro da crivagem pode ser determinante para reter a maioria dos contaminantes, que se apresentam genericamente com dimensões reduzidas, e aproveitar a fracção combustível, de maior calibre. Estima-se que 40 a 60 % dos resíduos produzidos, nos países mais industrializados, se enquadrem nesta filosofia. A fracção dos finos, ao ser separada por um *trommel*, maioritariamente constituída por materiais inertes (vidro, areias e pedras), permite aumentar o poder calorífico do produto final, pela concentração das fracções combustíveis (papel, cartão e plásticos) e reduzir o teor em cinzas. Outro aspecto a ter em conta na concepção da instalação é o teor em humidade da matéria prima. Genericamente a fracção mais húmida corresponde à de menor granulometria, pelo que neste caso um adequado posicionamento do *trommel* pode ser a melhor solução (Diaz *et al.*, 2006).

Caputo *et al.* (2002a) publicaram resultados de um modelo matemático que permite comparar eficiências entre linhas de produção de CDR. O modelo foi validado através da simulação e cálculo dos balanços mássicos, de linhas de produção de CDR, existentes em Itália e posterior comparação dos resultados com os valores reais observados nas instalações (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 Instalações em estudo e respectivos resultados matemáticos (adaptado de Caputo *et al.*, 2002a)

Instalação	Sequência de tratamento	Eficiência em massa média (%) / E (%)	Humidade média (%) / E (%)	Cinzas média (%) / E (%)	PCI média (kcal/kg CSR/E (%)
a	D-C-SM-T-SM-CAC-C-E	36.0/2.5	12.0/2.1	6.5/4.6	2900/1.1
b	CP-TM- SM-D-C-SM-T-C	69.3/1.3	7.3/3.7	4.8/5.2	4010/1.5
c	D-C-SM-T-SM-C	43.0/3.5	-	-	4354/0.34
d	T-CP-CAC-T-S-P	24.0/3.0	-	-	4000/2.1
e	T-SM-C-SB	55.0/6.0	-	-	2100/8.9
f	C-SM-CAC-C-SM-CAC	-	-	-	4000/1.7
g	T-SM-CP-SM	27.0/3.3	-	-	3000/1.5
h	T-C-T-CAC-P	35.0/1.4	-	-	3150/1.9

Legenda: a, b, c, d, e, f, g, h – instalações em Itália; E – erro; D – destroçador; C – Crivo rotativo (*trommel*); T – triturador; SM – separador magnético; CAC – classificador por ar com ciclone; E – extrusora; CP – Crivagem primária; TM – triagem manual; S – secador; P – peletizador; SB – separador balístico

Rotter *et al.* (2004) efectuaram estudos que permitem descrever as características físicas e químicas dos vários componentes presentes nos resíduos domésticos. Em suma, levaram a cabo várias campanhas de triagem em diferentes localidades na Alemanha e em diferentes períodos. No Quadro 3.3 apresentam-se os resultados obtidos para resíduos domésticos de origem urbana com combinação de diferentes operações unitárias. O estudo contempla ainda o fluxo de contaminantes químicos ao longo do processo de tratamento, tendo em conta a divisão em quatro grupos, que se representa por cores nas proporções respectivas:

- Fracção combustível pouco contaminada (papel, embalagens plásticas, têxteis e resíduos orgânicos);
- Fracção combustível muito contaminada (plásticos não biodegradáveis, materiais compósitos não biodegradáveis);
- Outros resíduos contaminados (baterias, resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos);
- Fracção não combustível (areias, vidro, pedras, metais).

Muito embora o CDR em análise seja produzido com resíduos de origem industrial, este estudo permite efectuar uma comparação entre a eficiência mássica, energética e na separação de contaminantes de várias linhas de produção possíveis.

Uma das questões mais relevantes, além das características e da eficiência do processo, a avaliar na produção de CDR, é o custo associado ao tratamento.

Para permitir efectuar uma comparação entre diferentes linhas de produção Caputo *et al.* (2002a) estimaram custos de produção tendo em conta a amortização do equipamento, em 10 anos operando 6 dias por semana, em 2 turnos de 7 horas cada, custos energéticos com um valor de 0.0723 €/kWh e o custo operacional, considerando dois operadores por turno (Quadro 3.4).

Quadro 3.3 Balanço mássico e energético para várias linhas de produção de CDR a partir de resíduos domésticos (adaptado de Rotter et al., 2004)

Fracção	Opção	Balanço Mássico (%)	Poder Calorífico Inferior	Cloro	Chumbo	Cádmio
Entrada	A	100 %	7,520 kJ/kg	0,7 % m/m	142 mg/kg	6,6 mg/kg
	D	100 %	9,879 kJ/kg	0,6 % m/m	142 mg/kg	8,3 mg/kg
	F	100 %	9,000 kJ/kg	0,6 % m/m	178 mg/kg	8,2 mg/kg
Materiais volumosos	A	1 %	2 %	3 %	6 %	10 %
	D	7 %	9 %	13 %	15 %	22 %
	F	7 %	10 %	20 %	30 %	46 %
Finos	A	35 %	27 %	11 %	38 %	5 %
	D	29 %	20 %	11 %	28 %	4 %
	F	22 %	10 %	7 %	15 %	2 %
Metais ferrosos	A	7 %	5 %	9 %	9 %	19 %
	D	6 %	1 %	2 %	8 %	14 %
	F	4 %	2 %	5 %	2 %	5 %
Fracção de pesados	A	-	-	-	-	-
	D	34 %	35 %	37 %	27 %	32 %
	F	28 %	29 %	39 %	31 %	30 %
Produto final (CDR)	A	56 %	66 %	77 %	47 %	66 %
	D	23 %	35 %	37 %	21 %	28 %
	F	40 %	49 %	28 %	22 %	16 %

Notas:

Sequência das operações unitárias existentes nas várias opções

**A:** Separação de volumosos (materiais volumosos) → Crivagem a 30 mm (finos) → Separador magnético (metais ferrosos)

**D:** Separação de volumosos (materiais volumosos → Crivagem a 30 mm (finos) → Separador magnético (metais ferrosos) → 3 estágios de classificação por ar – sopradores por bicos (30-80 mm), (80-150 mm), (150-200 mm) (fracção de pesados e CDR)

**F:** Separação de volumosos (materiais volumosos → Separador magnético → Separador balístico (saída de finos(<40 mm), fracção de pesados e CDR)

 Fracção não combustível

 Fracção combustível muito contaminada

 Outros resíduos contaminados

 Fracção não combustível

Quadro 3.4 Custo produção dos equipamentos (adaptado de Caputo *et al.*, 2002a)

Equipamento	Capacidade (t/h)	Potência (kW)	Custo (kEuro)	Amortização (Euro/h)	Custo Operacional (Euro/h)
Densificador	-	5	206.58	4.73	3.62
Classificador por ar	5	12	41.31	0.95	0.87
Secador	6	140	309.87	7.09	10.12
Tapete transportador	-	6	15.49	0.35	0.43
Moinho de martelos	2	200	129.11	2.96	14.46
	4	250	144.60	3.31	18.08
	6	300	154.93	3.55	21.69
Peletizador	4	50	206.58	4.73	3.62
Separador por correntes de Eddy	5	2.2	7.23	0.83	0.27
	10	2.2	11.87	0.96	0.45
	15	2.2	14.97	1.14	0.48
Separador magnético	5	3.75	36.15	0.17	0.16
	10	6.25	41.83	0.27	0.16
	15	6.6	49.57	0.34	0.16
Triagem manual	-	-	-	0.00	23.65
Destroçador	6	25	56.81	1.30	1.81
	10	50	108.45	2.48	3.62
	15	50	129.11	2.96	3.62
	25	55	154.93	3.55	3.98
Crivo rotativo	15	20	103.29	2.36	1.45
	25	30	154.93	3.55	2.17

Dong *et al.* (2009) publicaram valores de custos de produção de CDR substancialmente díspares dos apresentados por Caputo *et al.* (2002a) o que leva a concluir que esta não é uma questão pacífica no seio dos produtores de CDR (Quadro 3.5).

Quadro 3.5 Comparação dos custos de produção de CSR em vários países (adaptado de Dong *et al.*, 2009)

Instalação de produção de CDR	Unidades	Coreia	Itália (Fonte: Maria e Pavesi – 2006)	Itália (Fonte: Consonni e tal – 2004)	Chile (Fonte: Estevez – 2003)	Itália (Fonte: Caputo e Pelagagge – 2001)
Capacidade	Toneladas / ano	635 552	70 000 – 98 000	600 000	400 000 <sup>a</sup>	109 200 – 873 600 <sup>b</sup>
Custos operacionais e de manutenção	USD/ tonelada	109,9	109,9	97,7	5,3	9,3 – 32,3

Notas:

<sup>a</sup> Aproximadamente 1200 toneladas/dia e 335 dias /ano

<sup>b</sup> Aproximadamente 25 – 200 toneladas/hora em dois turnos de 7 horas, 6 dias por semana.

## 3.2 Emissões Geradas

Por último, no que se refere aos processos de produção e consumo de CDR convém efectuar uma análise aos impactos ambientais associados nomeadamente o consumo energético e as emissões gasosas, que são sem dúvida os mais significativas. Efectivamente é relevante proceder a este estudo quer no decorrer do processo produtivo de CDR ou a jusante, na utilização do produto enquanto combustível alternativo.

Apresentam-se no Quadro 3.6 os consumos de combustível, electricidade e água, de instalações com diferentes capacidades de produção de CDR, a partir de resíduos não perigosos.

Quadro 3.6 Exemplos de consumos em instalações de produção de CSR a partir de resíduos não perigosos (adaptado de European Commission, 2006)

Capacidade (kTon/ano)	Consumo combustível (GJ/ano)	Consumo electricidade (MWh/ano)	Consumo específico de electricidade (kWh/t)	Consumo específico de água (m³/t)
65	38475	3575	55	0.078
86	0	5831	68	0.0019
100		1050	10.5	

No Quadro 3.7 são apresentadas emissões típicas de instalações na Europa de produção de CDR, a partir de resíduos não perigosos, para diferentes capacidades de produção.

O Quadro 3.8 representa as emissões atmosféricas provenientes de quatro opções tecnicamente diferentes de co-combustão de CDR. Foram assumidos factores de dispersão padrão para este tipo de instalações. Nas centrais termoeléctricas e na cimenteira foram utilizados factores de dispersão inferiores, uma vez que a altura média das chaminés é superior a 150 m e no caso das incineradoras é aproximadamente 80 m (European Commission, 2003).

Quadro 3.7 Exemplos de emissões gasosas em instalações de produção de CDR a partir de resíduos não perigosos (adaptado de European Commission, 2003)

Unidades		Instalação A		Instalação B		Instalação C	
Capacidade	kt/ano	65		86		98	
Parâmetro		Conc.	Total	Conc.	Total	Conc.	Total
Poeiras	Milhões Nm <sup>3</sup>				394.2		
Oxigénio	%			19		1.4	
CO <sub>2</sub>	Ton/ano		11765		8428		
PM	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano	0		1	394.2		
SO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano		1820	18.6	7332		
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano	80	4699.5	47	18527	12.5	
N <sub>2</sub> O	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano				0		
TOC	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano	40	2340	1.7	670.14		
CH <sub>4</sub>	kg/ano		26715				
CO	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano	80	4699.5	8.4	3311.28	16	
HCl	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano		78				
HF	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano		26				
Metais totais	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano			0.4	197.1		
Hg	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano			3.7	1.46		
Cd + Tl	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano			0.4	0.197	0.08	
Clorobenzeno	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano			0	0.0047		
PCDD/PCDF	ngTEQ/Nm <sup>3</sup> – g/ano		0.0026	0.002	0.00079		
CFC	mg/Nm <sup>3</sup> – kg/ano			0.044	17.345		
Odores	EU O.U./Nm <sup>3</sup> – MGE/ano	0		110	43362		
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	0					

Baseando-se em factores de transferência, de vários contaminantes passíveis de estarem presente em emissões gasosas, simulou-se o efeito da utilização de CDR em substituição, de 50 %, de carvão e petcoque em cimenteiras tendo-se verificado que nomeadamente no mercúrio, a substituição combinada com carvão tem efeitos benéficos, ao contrário do verificado com petcoque (Genon *et al.*, 2008). O Quadro 3.9 apresenta os resultados da supra referida simulação.

Quadro 3.8 Emissão de poluentes atmosféricos após a combustão de 1 tonelada de CDR\* (adaptado de European Commission, 2003)

Parâmetro	Central termoelectrica a carvão lenhite	Central termoelectrica a carvão antracite	Cimenteira	Incineradora de RSU
Emissões (kg/tonelada de CDR combustada)				
HCl	$3,62 \times 10^{-1}$	$4,08 \times 10^{-1}$	$9,05 \times 10^{-4}$	$8,78 \times 10^{-3}$
SO <sub>2</sub>	$1,10 \times 10^{-1}$	$4,81 \times 10^{-1}$	$4,00 \times 10^{-3}$	$8,95 \times 10^{-2}$
As	$8,00 \times 10^{-6}$	$7,96 \times 10^{-6}$	$2,60 \times 10^{-7}$	$2,16 \times 10^{-7}$
Pb	$2,30 \times 10^{-3}$	$8,97 \times 10^{-4}$	$5,81 \times 10^{-6}$	$6,21 \times 10^{-5}$
Cd	$2,64 \times 10^{-4}$	$7,83 \times 10^{-5}$	$1,60 \times 10^{-6}$	$1,03 \times 10^{-5}$
Cr	$6,00 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$8,97 \times 10^{-7}$	$2,34 \times 10^{-5}$
Cu	$2,00 \times 10^{-3}$	$1,42 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-6}$	$8,40 \times 10^{-5}$
Ni	$2,50 \times 10^{-4}$	$5,93 \times 10^{-5}$	$6,27 \times 10^{-7}$	$3,75 \times 10^{-6}$
Hg	$4,63 \times 10^{-4}$	$3,31 \times 10^{-4}$	$7,24 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-4}$
Zn	$4,00 \times 10^{-3}$	$1,56 \times 10^{-3}$	$3,18 \times 10^{-6}$	$2,40 \times 10^{-5}$
Capacidade de co-incineração de CDR				
Tonelada/h	66	66	660	30
Factor de dispersão (kg/h → µg/m <sup>3</sup> )				
h/m <sup>3</sup>	0,005	0,005	0,005	0,01
Incremento máximo nas emissões (µg/m <sup>3</sup> )				
HCl	$3,63 \times 10^{-3}$	$1,59 \times 10^{-1}$	$1,32 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$
SO <sub>2</sub>	$1,10 \times 10^{-1}$	$1,35 \times 10^{-1}$	$2,99 \times 10^{-3}$	$2,63 \times 10^{-3}$
As	$2,64 \times 10^{-6}$	$2,63 \times 10^{-6}$	$8,60 \times 10^{-7}$	$6,48 \times 10^{-8}$
Pb	$8,72 \times 10^{-5}$	$2,59 \times 10^{-5}$	$5,28 \times 10^{-6}$	$3,10 \times 10^{-6}$
Cd	$1,98 \times 10^{-4}$	$9,46 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-6}$	$7,02 \times 10^{-6}$
Cr	$6,61 \times 10^{-4}$	$4,70 \times 10^{-4}$	$4,37 \times 10^{-6}$	$2,52 \times 10^{-5}$
Cu	$1,53 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-4}$	$2,39 \times 10^{-3}$	$3,24 \times 10^{-5}$
Ni	$8,26 \times 10^{-5}$	$1,96 \times 10^{-5}$	$2,07 \times 10^{-6}$	$1,13 \times 10^{-6}$
Hg	$7,60 \times 10^{-4}$	$2,96 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-5}$
Zn	$1,32 \times 10^{-3}$	$5,15 \times 10^{-4}$	$1,05 \times 10^{-5}$	$7,20 \times 10^{-6}$

\*Foi assumido a capacidade típica de co-incineração em instalações, o factor de dispersão característico das instalações e um volume de emissões atmosféricas, que resultariam num impacto máximo no ambiente, para uma instalação típica.



Quadro 3.9 Emissões de metais pesados com diferentes combustíveis usados em cimenteiras (adaptado de Genon et al., 2008)

Parâmetro	100 % Petcoque	50% Petcoque/ 50 % CDR	100 % carvão	50 % carvão/ 50 % CDR	Limites (mg/Nm <sup>3</sup> ) - Directiva "incineração"
Cd + Tl min (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.00006	0.00011	0.00034	0.00025	0.05
Cd + Tl max (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.00093	0.00169	0.00690	0.00467	
Hg min (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.00029	0.00127	0.00034	0.00130	0.05
Hg max (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.00143	0.00524	0.07588	0.04246	
Σ MP min (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.00769	0.00984	0.00049	0.00673	0.5
Σ MP max (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.06613	0.07076	0.11206	0.09668	

Nota: MP – metais pesados

Devido à quantidade elevada de matéria-prima existente no interior dos fornos das cimenteiras, estes adquirem uma inércia térmica superior à de outras instalações industriais, assim as variações de temperatura são lentas e facilmente controláveis. Esta característica é vantajosa quando se queima substâncias com composição e poder calorífico variáveis como os resíduos industriais (Comissão Científica Independente, 2006). Embora se verifique um ligeiro acréscimo nas emissões gasosas de metais pesados, quando se substituem os combustíveis tradicionais por CDR, a verdade é que no que respeita a emissões de dióxido de carbono, a utilização de CDR pode representar benefícios. A Figura 3.7 representa os ganhos em quantidade e emissões de CO<sub>2</sub>, pela utilização de CDR em substituição, para vários combustíveis tradicionais.

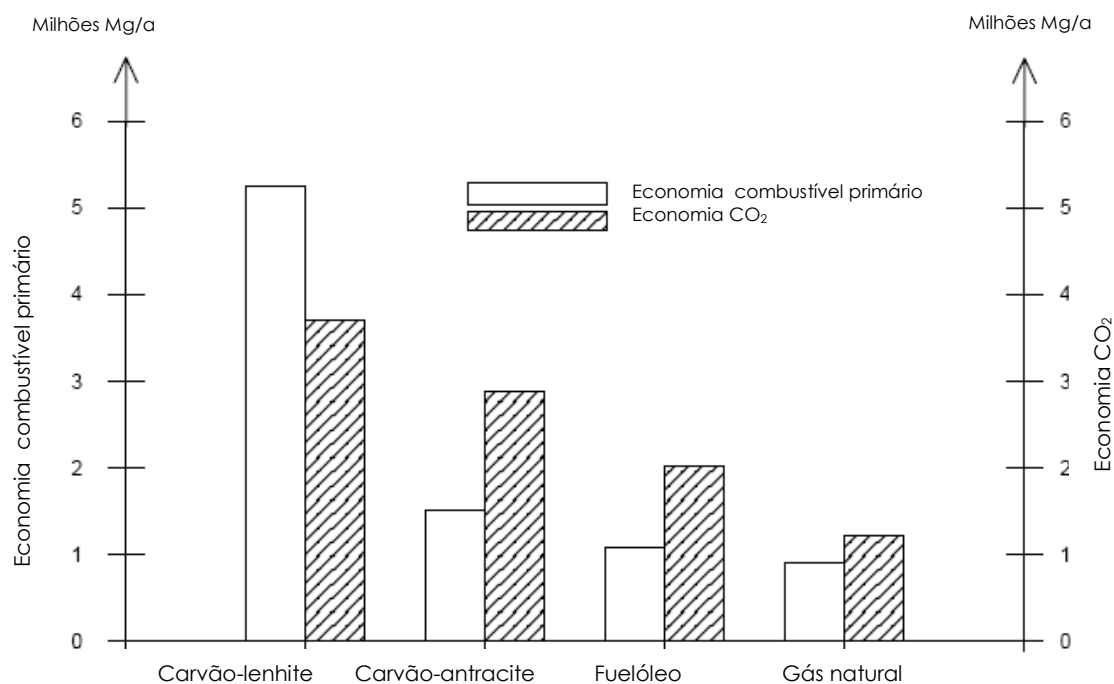


Figura 3.14 Economia de combustível primário e CO<sub>2</sub> pela utilização de CDR (adaptado de Schirmer et al., 2003)

Nota: Neste cálculo foi utilizada uma mistura de CDR com as seguintes características: 1,75 milhões de toneladas de CDR com PCI de 15,5 MJ/kg, 19,54 milhões de GJ provenientes de fontes renováveis e um factor de emissão de 18,9 gCO<sub>2fóssil</sub>/MJ; 1,05 milhões de toneladas de CDR com PCI de 17,4 MJ/kg, 9,69 milhões de GJ provenientes de fontes renováveis e um factor de emissão de 31,6 gCO<sub>2fóssil</sub>/MJ.

## 4. METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a técnica utilizada neste estudo para a caracterização do CSR produzido a partir de resíduos industriais não perigosos.

É também efectuada uma abordagem ao tratamento estatístico utilizado na análise e avaliação dos resultados obtidos.

### 4.1 Amostragem

#### 4.1.1 Teoria da Amostragem

O processo de amostragem representa um papel fundamental em estudos e tomadas de decisão no domínio do ambiente. Um conjunto de amostras não representativo de uma população, que se pretende avaliar, permite obter resultados estatísticos que podem conduzir a conclusões, e consecutivamente decisões incorrectas, com o respectivo impacto negativo no domínio financeiro (Gerlach *et al.*, 2003).

Um lote corresponde a um conjunto de partículas às quais se encontram associadas uma série de características como sejam a granulometria, a forma, a densidade, a distribuição bem como as restantes propriedades físicas e químicas (Gerlach *et al.*, 2003).

A recolha de uma amostra deve garantir exactidão e precisão, para os parâmetros que se pretendem avaliar, e simultaneamente a representatividade em relação ao lote. Esta operação deverá ser uma realidade ao longo de todo o processo, que se inicia na primeira recolha, e que inclui a redução da amostra e do calibre das partículas (Gerlach *et al.*, 2003).

A maior parte do erro associado à amostragem deve-se à heterogeneidade dos materiais, razão pela qual uma amostra nunca será uma cópia fiel do lote que pretende representar. Heterogeneidade é uma propriedade de uma população, ou lote, em que as partículas que a constituem não são todas idênticas, entre si, no que respeita à característica em estudo. Em materiais no estado sólido a heterogeneidade é ainda mais evidente, inclusive à escala macroscópica, resultando num aumento da incerteza associado à representatividade da amostra (Gerlach *et al.*, 2003).

A amostra que se obtém apresenta uma determinada dimensão, o que implica a existência de um número limitado de partículas com forma e de tipos diferentes. Caso a amostra não possua a quantidade necessária, para ser representativa do lote, corre-se o risco de não estarem presentes suficientes partículas da determinada característica em análise (Gerlach *et al.*, 2003).

Pierre Gy, reconhecido cientista no domínio da amostragem, identificou um conjunto de diferentes tipos de erros que podem ocorrer no processo de amostragem, em resultado da heterogeneidade dos resíduos, e a dificuldade em estabelecer a quantidade e as dimensões dos materiais a incluir na amostra. Em termos qualitativos estes erros são (EPA, 2002 e Gerlach *et al.*, 2003):

1. Erro fundamental – causado pelas diferenças na composição de cada uma das partículas individualmente. A composição de uma amostra nunca coincide exactamente com a composição da quantidade maior que lhe deu origem, por ex. o lote, uma vez que a quantidade da amostra é sempre inferior à massa da população no seu todo, e esta nunca é totalmente homogénea. A designação deste erro deve-se ao facto de ser um erro impossível de minimizar pois depende da composição, forma, distribuição granulométrica e propriedades químicas do material, não sendo afectado pela mistura e homogeneização;
2. Erro de agrupamento e segregação - Erro devido à segregação e agrupamento de partículas e dos respectivos constituintes das partículas. Este erro resulta do facto de algumas partículas tenderem a associar-se em grupos de partículas idênticas. Este fenómeno deve-se, por exemplo, à separação gravitacional, partição química, teor de humidade, campos eléctricos ou magnéticos. A Figura 4.1 permite perceber melhor o descrito;

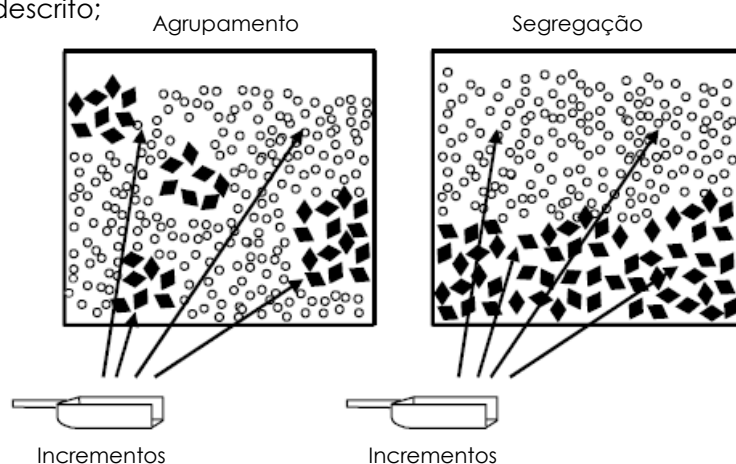


Figura 4.1 Influência do agrupamento e segregação de partículas na amostragem (adaptado de EPA, 2002)

3. Erros associados a variações temporais ou espaciais - Erro com origem em tendências como os efeitos de escala ou ciclos;
4. Erro de delimitação e extracção de incrementos - Estes erros ocorrem quando a forma do equipamento utilizado na amostragem exclui à partida algumas porções do material a ser amostrado ou quando ocorrem perdas de porções de amostra ou se adicionam partículas estranhas à amostra;
5. Erro de preparação - Erro devido à preparação da amostra que inclui transporte e manuseamento. Este erro deve-se às incorrecções nas fases de preservação, manuseamento, mistura, redução de calibre e divisão da amostra e resulta em perdas, contaminação ou alteração da amostra de tal forma que a amostra resultante deixa de ser representativa do material de que foi recolhida.

À excepção do erro fundamental, inerente ao facto das partículas não serem química ou fisicamente iguais, os outros factores que contribuem para a heterogeneidade podem ser minimizados através da aplicação de técnicas correctas de amostragem. Em suma, existem duas formas de reduzir o efeito do desvio causado pelo erro fundamental. Uma, é incrementando a quantidade de amostra a analisar permitindo que a composição e a distribuição das diferentes partículas se assemelhe o mais possível com a distribuição original. Uma amostra maior permite ainda reduzir a contribuição relativa de cada partícula individual no parâmetro em estudo. O outro processo, é o de reduzir a influência de uma dada partícula através do seu fraccionamento em partículas de menores dimensões. A redução do calibre das partículas permite reduzir o efeito da inclusão ou exclusão de determinado tipo de partícula (Gerlach *et al.*, 2003).

Outra operação que requer especial atenção é a redução da quantidade de amostra inicial e que depende de várias características físicas e químicas nomeadamente (Gerlach *et al.*, 2003):

- Forma das partículas;
- Diâmetro das partículas;
- Quantidade de partículas;
- Quantidade de partículas de diferentes tipos;
- Densidade ou massa das partículas;
- Composição química das partículas;
- Composição
- Efeitos de matriz ou outras características químicas ou físicas (humidade, presença de líquidos, sólidos amorfos ou materiais intersticiais);

- Concentração do analito por tipos de partícula;
- Distribuição granulométrica das partículas;

Nos capítulos seguintes descrever-se-á a metodologia de amostragem descrita nas normas CEN destinadas aos combustíveis sólidos recuperados e aplicadas neste trabalho.

#### **4.1.2 Amostragem de Lote**

Após a definição do que se pretende ser o lote, a amostragem deve ser efectuada segundo um plano, de modo a que as amostras obtidas sejam representativas. O plano de amostragem deverá ser desenhado de modo a cumprir o objectivo de controlo do processo, tendo em conta os dados disponíveis do produto, e a acessibilidade ao lote (CEN, 2006b).

Os passos essenciais para a definição do plano de amostragem são (CEN, 2006b):

- Definição dos objectivos, que podem ter em conta os requisitos das partes envolvidas incluindo do cliente final;
- Definição do lote e da sua dimensão, que deverá ter em conta a quantidade produzida e a periodicidade das entregas. A dimensão do lote deverá estar relacionada com a quantidade entregue baseada numa especificação. Todavia, a dimensão máxima do lote ou sub-lote não deverá exceder  $1,5 \times 10^6$  kg;
- Definição do procedimento de amostragem, preferencialmente a amostra deverá ser recolhida de um transportador, embora tendo sempre presente a representatividade;
- Determinação do número de incrementos, o mínimo de incrementos deverá ser 24;
- Determinação da dimensão mínima de amostra;
- Determinação do tamanho mínimo do incremento, que depende do local de realização da amostragem;
- Determinação da dimensão definitiva das amostras e dos incrementos;
- Selecção da distribuição dos incrementos num lote, cada partícula num lote deverá ter igual probabilidade de ser recolhida para a amostra.

No caso em estudo, o lote tem a dimensão da quantidade produzida, num dia de operação, podendo o mesmo variar entre 20 e 40 toneladas em função do número de paragens, programadas ou não. De notar que em 2008 a quantidade de CDR produzida diariamente foi em média superior à registada em 2007, dada a optimização dos recursos e

processos produtivos. A dimensão do lote foi acordada entre as partes, produtor e consumidor.

Relativamente ao procedimento de amostragem havia duas hipóteses, recolher à saída do triturador final e do *trommel*, no caso dos finos, ou recolher a amostra directamente da zona de armazenagem. Optou-se por recolher a amostra à saída do transportador do triturador final e do *trommel* uma vez que a dimensão da pilha, após algumas horas de produção, implicaria que a recolha acarretasse alguns riscos para a segurança do operador nomeadamente o risco de queda em altura.

#### **4.1.2.1 EQUIPAMENTO A UTILIZAR**

Outro passo essencial do procedimento de amostragem é a forma como se irá realizar a escolha dos equipamentos a utilizar. Na selecção do equipamento três regras devem ser tidas em conta (CEN, 2006b):

- O equipamento a utilizar não pode alterar a composição do material;
- Todas as partículas do material devem ter igual probabilidade de ser recolhidas;
- O equipamento deverá ser, no mínimo, três vezes maior que o diâmetro nominal, da fracção maior, das partículas do CSR.

A metodologia aplicada foi a de recolher o material para uma caixa de cartão, com dimensão 22x30cm. Após a recolha, cada incremento era colocado num tapete, localizado numa sala anexa à zona de produção, ficando aí retido até ao final do dia, altura em que se procedia à mistura e tratamento da amostra. A mistura era efectuada com uma pá.

#### **4.1.2.2 CÁLCULO DA DIMENSÃO DA AMOSTRA**

Por último, é necessário determinar a quantidade mínima de amostra, que garanta a representatividade e que tem em conta diversos factores. A primeira etapa é conhecer o diâmetro nominal das partículas, a 95 % e em seguida calcular o factor de forma (equação 4-1) (CEN, 2006b):

$$s = \frac{V_{95}}{d_{95,l}^3} \quad (4.1)$$

Sendo:

s – factor de forma, em mm<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>;

$d_{95}$  – diâmetro nominal das partículas para o qual 95 %, em massa, das partículas são inferiores, em mm;

$V_{95}$  – volume máximo de uma partícula tipo *fluff* correspondente ao qual 95 %, em massa, das partículas é inferior ( $V = l \times c \times h$ ), em mm<sup>3</sup>.

Um outro factor a determinar, é o factor de distribuição,  $g$ , que depende da relação entre as partículas de maior dimensão e as mais pequenas, ou seja, o diâmetro nominal a 95 %,  $d_{95}$ , com o diâmetro a 5 %,  $d_{05}$  (Quadro 4.1) (CEN, 2006b).

Quadro 4.1 Sistema de classificação dos combustíveis sólidos recuperados (adaptado de CEN, 2006b)

Relação $d_{95}/d_{05}$	$g$
$d_{95}/d_{05} > 4$	0,25
$2 \leq d_{95}/d_{05} \leq 4$	0,50
$1 \leq d_{95}/d_{05} < 2$	0,75
$d_{95}/d_{05} = 1$	1,00

O factor  $p$ , outro parâmetro a ter em consideração, refere-se à fracção de partículas que contém um contaminante que se pretende conhecer. Na ausência de dados pode considerar-se um valor fixo de 0,10 para este factor.

O coeficiente de variação do processo não deverá ser superior a 0,1 (10 %), sendo este um valor aceitável para os cálculos (CEN, 2006b).

A quantidade mínima de amostra poderá por fim ser calculada segundo a expressão 4.2 (CEN, 2006b):

$$m_m = \frac{\pi}{6} \times d_{95}^3 \times s \times \lambda \times g \times \frac{(1-p)}{(C_v)^2 \times p} \quad (4.2)$$

Sendo:

$m_m$  – quantidade mínima de amostra, em gramas;

$\lambda$  - densidade média das partículas no CSR, em g/mm<sup>3</sup>;

$g$  – factor de correcção para a distribuição do diâmetro das partículas;

$p$  – fracção de partículas com uma determinada característica, em g/g, sendo o seu valor de 0,1;

$C_v$  – coeficiente de variação.

A primeira etapa da realização dos ensaios experimentais foi o cálculo da quantidade de amostra que seria necessário recolher tendo em conta a elevada heterogeneidade do



material. Para o efeito foi utilizada a metodologia descrita em 4.1.2.2 tendo-se assumido os pressupostos constantes do Quadro 4.2:

Quadro 4.2 Parâmetros utilizados no cálculo da quantidade de amostra

Parâmetro	Valor utilizado	
	2007	2008
$d_{95}^1$	30 mm	30 mm
$V_{95}^2$	900 mm <sup>2</sup>	900 mm <sup>2</sup>
g	0,25	0,25
p	0,1	0,1
$\lambda^3$	0,3 g/cm <sup>3</sup>	0,3 g/cm <sup>3</sup>
Cv	0,1	0,1

Notas:

<sup>1</sup> Assumiu-se que pelo menos 95 % das partículas tinham dimensão inferior a 30 mm (diâmetro do crivo do triturador). No caso dos Finos, em 2007, o diâmetro,  $d_{95}$ , é inferior a 30 mm contudo considerando o valor de 30 mm a massa mínima de amostra a recolher é seguramente superior, pelo que optou-se por não recalcular.

<sup>2</sup> Assumiu-se que as partículas têm a forma de uma lâmina ou seja aproximadamente quadrada com um milímetro de espessura.

<sup>3</sup> Assumiu-se uma densidade média das partículas de 0,3 g/cm<sup>3</sup>.

A quantidade mínima de amostra a recolher para ser representativa do lote é de 32g. Uma vez que o valor obtido por cálculo é muito baixo, numa dimensão industrial, optou-se por recolher uma quantidade muito superior à calculada. Assim procedeu-se à recolha de sub-amostras, incrementos, a cada 15 minutos. A variação da quantidade de amostra recolhida no decorrer do estudo prende-se com o facto da produção sofrer várias paragens não programadas ao longo do dia. Cada incremento apresentava uma dimensão média, em 2007, de 1,5 kg para o CDR e 1 kg para os Finos e em 2008 de 300 g para o CDR e 150 g para os Finos.

### 4.1.3 Preparação da Amostra Laboratorial

Genericamente a amostra recolhida a partir do lote apresentava uma dimensão que não permitia a sua fácil manipulação para análise, pelo que foi reduzida. Para o efeito a amostra foi submetida a uma preparação prévia que não poderá comprometer a representatividade da mesma. Cada partícula na amostra, antes da redução, deverá ter igual probabilidade de estar incluída na sub-amostra obtida após a operação de redução

(CEN, 2006c). No decorrer da preparação de uma amostra existem dois métodos que são geralmente utilizados:

- Divisão da amostra para reduzir a quantidade em massa;
- Redução da granulometria das partículas na amostra.

Na operação de redução em massa deve ser respeitado, a cada passo, o seguinte princípio (CEN, 2006c):

$$m > \alpha \times d_{95}^3$$

onde:

$m$ , é a massa obtida após um passo de redução;

$d_{95}$ , é o diâmetro nominal a 95 % em massa;

$\alpha$ , é constante ao longo de todo o processo de redução.

#### **4.1.3.1 EQUIPAMENTO A UTILIZAR**

Para se proceder à redução da amostra podem ser utilizados diversos equipamentos nomeadamente amostradores de Jones, amostradores automáticos rotativos, pás ou espátulas. Na escolha do equipamento deve ter-se em conta os seguintes princípios (CEN, 2006c):

- Amostrador de Jones, deverá ter no mínimo 16 divisões com um diâmetro mínimo de 2,5 vezes o diâmetro nominal superior das partículas;
- Amostradores automáticos rotativos, com um diâmetro da alimentação cerca de 2,5 vezes o diâmetro nominal superior das partículas;
- Pá, com fundo plano e altura suficiente para reter todas as partículas. A largura deverá ser aproximadamente 2,5 vezes o diâmetro nominal superior das partículas.

A redução do calibre das partículas é efectuada recorrendo-se a trituradores, para uma trituração grosseira, até 30 mm, ou moinhos, quando se pretende reduzir o calibre até 1 mm ou menos. Estes equipamentos devem vir munidos de crivos, para todas as etapas de redução, e por forma a controlar o diâmetro final pretendido (CEN, 2006c).

Por último, outro equipamento a utilizar na preparação da amostra são peneiros, com abertura de malha de 1 mm, para aferir o diâmetro nominal das partículas na amostra a analisar.

#### 4.1.3.2 TÉCNICAS DE REDUÇÃO DE AMOSTRA

Para redução do tamanho da amostra existem várias técnicas que se podem utilizar em função da tipologia do CSR, da granulometria, do equipamento disponível ou mesmo da disponibilidade do operador.

##### 4.1.3.2.1 Enquartamento

Esta técnica é utilizada para CSR do tipo *pellets*, *chips* e *fluff* que possam ser manuseados com uma pá ou uma espátula. É adequada para redução de amostras até 1 kg. Em resumo, esta técnica consiste em colocar o material em pilha de forma cônica, numa superfície lisa e plana, e em seguida com o auxílio da pá ou de espátula, é espalmado de forma uniforme para se obter um disco de altura e diâmetro homogêneos. O disco é posteriormente cortado em quatro, com o auxílio da pá, que deverá penetrar o disco na vertical, e por fim dois extremos do disco deverão ser rejeitados. O restante material é novamente reunido e repete-se todo o processo até se obter a massa final pretendida (Figura 4.2)(CEN, 2006c).

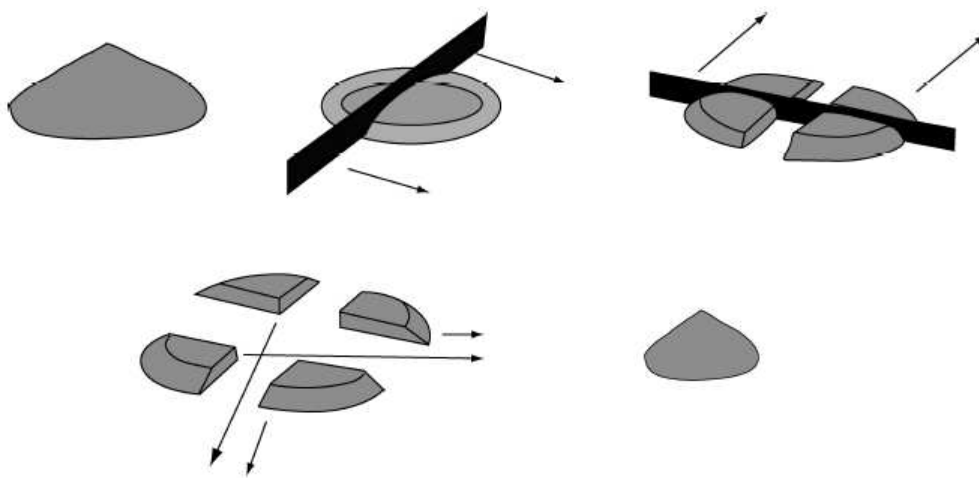


Figura 4.2 Técnica do enquartamento (CEN, 2006c)

##### 4.1.3.2.2 Amostradores

Os amostradores de *Jones*, por exemplo, são adequados para partículas mais homogêneas e secas que evitem a colmatação das ranhuras, não sendo por conseguinte, adequada para CSR tipo *fluff*. Nesta técnica, a amostra deve ser colocada de forma distribuída ao longo do amostrador (Figura 4.3), após se terem colocado os dois recipientes na base. Em seguida, deixa-se escorregar lentamente o material pelas ranhuras, por forma a evitar a colmatação das mesmas, e recolhe-se a amostra nos dois recipientes. Após se recolher a

amostra rejeita-se o conteúdo de um dos recipientes e repete-se todo o procedimento (CEN, 2006c).

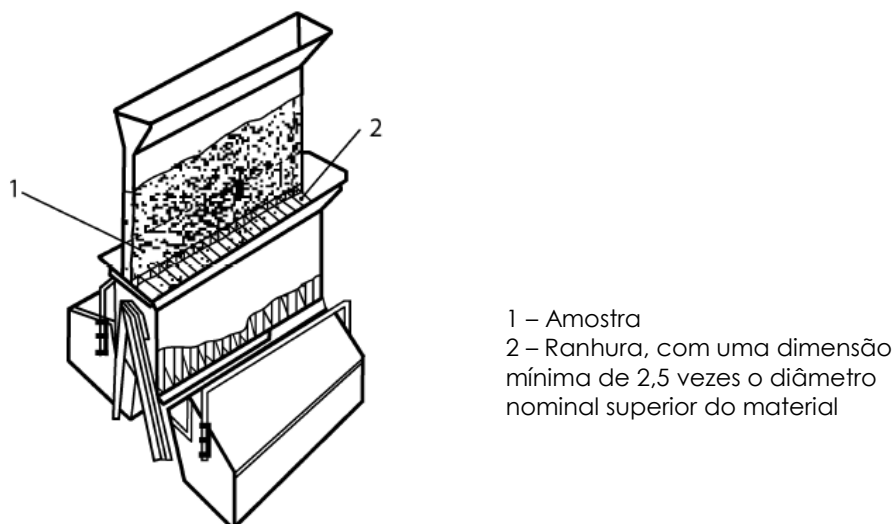


Figura 4.3 Amostrador de Jones (adaptado de CEN, 2006c)

#### 4.1.3.2.3 Pilha revolta

Esta técnica pode ser utilizada em todos os tipos de CSR, sendo particularmente interessante quando se pretendem várias amostras laboratoriais. A amostra deve ser colocada numa superfície dura e lisa e homogeneizada com uma pá ou espátula. Em seguida, forma-se uma pilha comprida com uma relação comprimento:largura não inferior a 10:1, com material o melhor distribuído que for possível, e com os topos cortados. Por último, obtém-se uma amostra retirando 20 porções, com a mesma quantidade e de zonas igualmente espaçadas da pilha. A porção deve ser retirada fazendo cortes na vertical e removendo todo o material existente entre os dois cortes (Figura 4.4). A dimensão do corte depende da quantidade de amostra laboratorial necessária (CEN, 2006c).

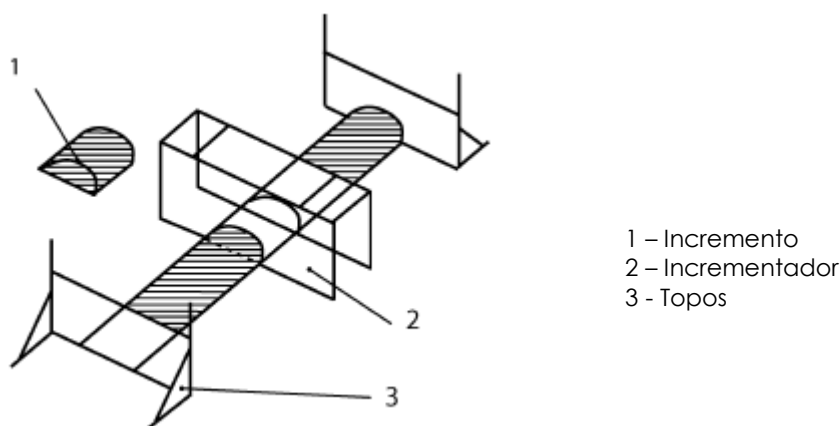


Figura 4.4 Técnica de túnel (adaptado de CEN, 2006c)

#### 4.1.3.2.4 Pilha estática

Tal como o anterior, este método pode ser utilizado para todos os materiais sendo igualmente adequado quando se pretendem várias amostras laboratoriais. A técnica consiste em formar uma pilha semelhante à descrita em 4.3.1.2.3. Ao lado da pilha colocam-se o número de recipientes correspondente ao número de amostras a produzir. Com uma pá, cuja capacidade deverá ser 1/20 do tamanho da amostra, retiram-se porções para os recipientes, tendo o cuidado de retirar sempre do mesmo topo da pilha. O procedimento termina quando todo o material da pilha tiver sido utilizado (CEN, 2006c).

#### 4.1.3.2.5 Divisão manual

Este método é adequado para *pellets* e outros CSR cujo diâmetro nominal é tal que possa ser manuseado com espátula. O primeiro passo é colocar a amostra numa superfície lisa e dura e homogeneizá-la com a espátula. De seguida espalha-se a amostra até formar um rectângulo, cuja espessura não deve exceder três vezes o diâmetro nominal das partículas. O rectângulo será então dividido superficialmente, com o auxílio da espátula, em 20 partes. Por fim retiram-se pequenas porções de cada uma das 20 partes e combinam-se todas as porções para formar a sub-amostra (CEN, 2006c).

#### 4.1.3.2.6 Divisor rotativo

Este divisor permite separar a amostra de forma mecânica e deverá rodar, no mínimo 20 vezes, até a totalidade da amostra se encontrar dividida (Figura 4.5), (CEN, 2006c).

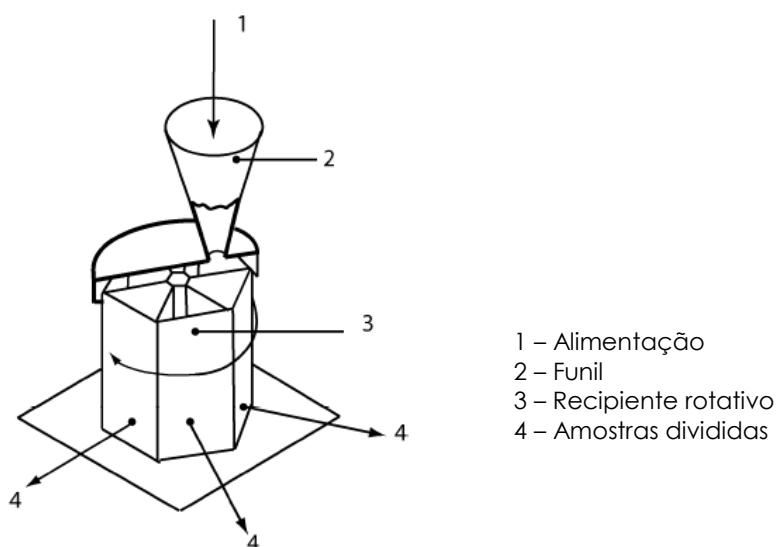


Figura 4.5 Divisor rotativo (adaptado de CEN, 2006c)

#### 4.1.3.3 PROCEDIMENTO UTILIZADO

##### 4.1.3.3.1 Divisão da amostra

Como geralmente a quantidade de amostra laboratorial excede a necessária para realizar testes laboratoriais, deverá proceder-se ao tratamento adequado que permita uma diminuição da massa da amostra e em paralelo a redução do calibre das partículas que a constituem. A massa a reter deverá contudo respeitar o valor mínimo necessário à realização da análise, de acordo com a norma CEN/TS 15443:2006, que para os ensaios a realizar são os valores constantes do Quadro 4.3:

Quadro 4.3 Dimensão mínima da amostra para a realização de análises (adaptado de CEN, 2006b)

Parâmetro	Quantidade mínima para efectuar análises em duplicado(g)
Conteúdo em biomassa	22
Teor em cinzas	5
Poder calorífico	5
Teor em cloro	200
Teor em metais macroelementares + microelementares + mercúrio	1200

As massas das amostras recolhidas diariamente foram pesadas numa balança de prato à vista e registados os respectivos pesos. Apresenta-se no Apêndice III as quantidades de amostra recolhidas para cada uma das etapas deste estudo.

Para reduzir a quantidade de amostra inicial, e preparar a amostra laboratorial, optou-se pela técnica do enquadramento, dada a simplicidade da mesma, tendo-se utilizado para o efeito uma pá. Quando o número de etapas do enquadramento permitia obter aproximadamente um kg, a amostra era encaminhada para o laboratório.

##### 4.1.3.3.2 Determinação da massa inicial

Previamente a qualquer tratamento de amostra que possa conduzir a perda de humidade deverá determinar-se e registar-se a massa da amostra laboratorial (CEN, 2006c).

No Apêndice III são apresentados os pesos das amostras laboratoriais correspondentes aos vários lotes submetidos a análise.

#### **4.1.3.3.3 Pré-secagem**

A pré-secagem das amostras é levada a cabo para minimizar as perdas, no tratamento seguinte da amostra, e a degradação biológica. Caso seja efectivamente necessário secar previamente a amostra a temperatura não deverá exceder os 40 °C.

Qualquer amostra, incluindo as previamente secas, deverá ser espalhada numa bandeja pouco profunda e deixar em repouso por 24 horas de modo a que se atinja o equilíbrio com a temperatura e humidade do laboratório (CEN, 2006c).

Tendo em conta que os materiais utilizados na produção de CDR apresentam baixo teor de humidade não foi necessário proceder à pré-secagem das amostras.

#### **4.1.3.3.4 Trituração**

Caso o diâmetro nominal da amostra seja superior a 30 mm o primeiro passo é a redução de calibre num triturador. Se a amostra contiver metais ou pedras estes devem ser retirados antes da trituração devido aos danos que possam causar no equipamento. A massa e a tipologia dos materiais retirados devem ser registados. Para alguns tipos de CSR pode ser necessário recorrer à técnica da criogenia, com dióxido de carbono sólido ou azoto líquido (CEN, 2006c).

Como o CDR e os Finos produzidos pela instalação em estudo possuem uma granulometria inferior a 30 mm não foi necessário efectuar uma trituração inicial.

#### **4.1.3.3.5 Trituração de 30 mm até 1 mm**

O processo de trituração até ao diâmetro nominal de 1 mm, deve ser realizado num moinho e caso necessário em várias etapas, com crivos de diâmetro intermédio, até ao crivo final (CEN, 2006c).

Quando a amostra contém materiais que apresentam grande resistência à trituração, o que pode conduzir a um aumento da temperatura e consecutivamente originar a perda de metais pesados voláteis, como o mercúrio, é preferível recorrer-se à criogenia. Em alternativa, tendo em conta que o manuseamento do dióxido de carbono e do azoto líquido acarreta alguns riscos para o operador, poderá reduzir-se a porção que entra no triturador, garantindo porém que a temperatura não supera os 70 °C (CEN, 2006c).



Figura 4.6 Moinho

Algumas partículas longas podem não conseguir ser trituradas no moinho nesse caso devem ser retiradas e cortadas manualmente até se obter a granulometria pretendida.

As amostras que forem submetidas ao processo de trituração não podem ser utilizadas na determinação da humidade do material tal qual (CEN, 2006c).

No caso de estudo, o CDR e os Finos são produzidos a 30 mm, pelo que optou-se por proceder à trituração das amostras no moinho (Figura 4.6) em três etapas, com diferentes crivos. A primeira etapa destinou-se a reduzir o calibre do material até 10 mm, na segunda foi utilizado um crivo de 4 mm e por último o crivo de 1 mm. Uma vez que o CDR em análise tem origem em resíduos industriais houve, por vezes, necessidade de separar alguns materiais no decorrer do processo de trituração nomeadamente alguns metais, vidro acrílico, pedras, entre outros. No Apêndice III constam os resíduos e respectivas quantidades, por amostra recolhida em 2007, que não sofreram o processo de trituração e tiveram de ser segregados. Em 2008 por simplificação da metodologia este passo não foi efectuado.

#### **4.1.3.3.6 Redução da amostra**

Para a redução da amostra com calibre inferior a 30 mm, nas etapas intermédias de trituração, utilizou-se o método do enquartamento. Optou-se por esta técnica dada a simplicidade da mesma. Apresentam-se no Apêndice III as quantidades de amostra obtidas nos passos intermédios para o ano 2007. Em 2008 optou-se por não realizar as pesagens intermédias por se ter considerado um passo dispensável.



#### **4.1.3.3.7 Tratamento final**

Após a amostra apresentar uma granulometria inferior a 1 mm deverá ser homogeneizada numa superfície lisa e, com o auxílio da espátula, retira-se a quantidade pretendida (CEN, 2006c).

Em alguns casos poderá ainda ser necessário proceder à redução de amostra até 0,25mm. Neste estudo as amostras foram analisadas com a granulometria de 1 mm.

## **4.2 Características Físico-Químicas**

### **4.2.1 Teor em Biomassa**

A determinação do conteúdo de biomassa baseia-se no método da dissolução selectiva em combustíveis sólidos recuperados. O método envolve o tratamento da amostra com ácido sulfúrico concentrado e peróxido de hidrogénio. O conteúdo em biomassa permite obter uma estimativa da fracção biodegradável e biogénica no combustível.

Na determinação do conteúdo de biomassa de combustíveis sólidos recuperados podem ser utilizados três métodos de análise (CEN, 2006d):

- Análise gravimétrica;
- Análise do poder calorífico;
- Análise do teor em carbono total.

Neste trabalho serão apresentados resultados obtidos a partir da análise gravimétrica, ao CDR e aos Finos produzidos, e pelo teor em carbono total.

#### **4.2.1.1 MÉTODO DA DISSOLUÇÃO SELECTIVA**

Tal como referido anteriormente este método consiste em tratar a amostra com ácido sulfúrico concentrado e peróxido de hidrogénio. A fracção de biomassa no combustível sólido recuperado é selectivamente dissolvida e a fracção de não-biomassa permanece como resíduo. A amostra é submetida a pesagem antes e após o tratamento da dissolução selectiva (CEN, 2006d).

O procedimento analítico consistiu em preparar 2 amostras teste de 5 g e diâmetro nominal de 1 mm. Numa das amostras foi determinado o teor em cinzas, a 550 °C. A 2ª amostra foi seca a 105°C até se obter um peso constante, variação máxima de 50 mg entre pesagens,

e registado o peso. O resíduo seco foi em seguida colocado num balão de 500 ml, garantindo-se o arrastamento total de todas as partículas. Em seguida, adicionou-se à amostra 150 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a 78 % (m/m) e agitou-se manualmente. O balão ficou em repouso durante 16±2 horas. Após as 16 horas adicionaram-se 30 ml de peróxido de hidrogénio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 35 %, agitou-se manualmente e colocou-se em repouso por mais 5±1 horas. Em paralelo secou-se um filtro de fibra de vidro e registou-se o respectivo peso. Após o período de repouso, diluiu-se a solução com 300 ml de água desmineralizada e filtrou-se através do filtro de fibra de vidro. O bolo de filtração (resíduo) foi por fim lavado com 6 doses de 50 ml de água desmineralizada, até se obter um pH mínimo, do filtrado, de 3,0 unidades na escala de Sorensen. O resíduo e o filtro foram secos a 105°C até se obter um peso constante. Por último, foram registados os pesos obtidos e a amostra foi calcinada a 550 °C para determinação do teor em cinzas (CEN, 2006d).

A fracção de biomassa na amostra de combustível sólido recuperado é calculada através da expressão (4.3) (CEN, 2006d):

$$x_B = \left[ 1 - \left\{ \frac{m_{\text{resíduo}} - m_{\text{cinzas(resíduo)}}}{m_{\text{CDR}}} + \frac{A_{\text{CDR}}}{100} \right\} \right] \times 100 \quad (4.3)$$

Em que:

$A_{\text{CDR}}$  – Teor em cinzas, %;

$m_{\text{cinzas resíduo}}$  – massa das cinzas resultantes da dissolução (incluindo o filtro), g;

$m_{\text{CDR}}$  – massa da amostra seca de CDR, g;

$m_{\text{resíduo}}$  – massa seca resultante após dissolução da amostra teste, g;

$x_B$  – conteúdo em biomassa, base seca, % m/m;

$x_{NB}$  - conteúdo em não-biomassa, base seca, % m/m;

O teor em cinzas, A, foi obtido da seguinte forma, sendo m as massas das respectivas partes envolvidas:

$$A(\%) = \frac{m_{\text{cadinho com amostra calcinada}} - m_{\text{cadinho}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (4.4)$$

Por diferença, a fracção de não-biomassa é calculada recorrendo à seguinte expressão (CEN, 2006d):

$$x_{NB} = 100 - x_B - A_{\text{CDR}} \quad (4.5)$$

#### 4.2.1.2 MÉTODO DA TRIAGEM MANUAL

Este método consiste em separar manualmente uma amostra de combustíveis sólidos recuperados (CSR) em várias fracções de plásticos, papel/cartão, madeira, resíduos orgânicos e inertes. O erro associado à operação de triagem manual é determinado a partir do método da dissolução selectiva.

O Quadro 4.4 apresenta as diferentes fracções nas categorias de biomassa, não-biomassa e inertes na qual as amostras de CSR são subdivididas no processo de triagem manual (CEN, 2006d).

Quadro 4.4 Classificação das fracções para a triagem manual (adaptado de CEN, 2006d)

<b>Fracção:</b>	<b>A fracção é caracterizada como:</b>	<b>Para a determinação do conteúdo em biomassa, "não biomassa" e inertes, expresso em percentagem mássica a fracção é considerada na categoria:</b>
Orgânicos	Fracção biomassa	Biomassa
Papel/cartão	Fracção biomassa	Biomassa
Madeira	Fracção biomassa	Biomassa
Papel "Tissue"	Fracção biomassa	Biomassa
Têxteis (roupa)	Fracção mista contendo maioritariamente biomassa	Biomassa
Peles/borracha	Fracção mista contendo maioritariamente biomassa	Biomassa
Vidro	Fracção inerte contendo maioritariamente contaminações de biomassa	Inerte
Minerais	Fracção inerte contendo maioritariamente contaminações de biomassa	Inerte
Finos	Fracção com um diâmetro nominal inferior a 10 mm. É uma fracção inerte contendo maioritariamente contaminações de biomassa	Inerte
Plástico flexível	Fracção "não-biomassa"	Não-biomassa
Plástico rígido	Fracção "não-biomassa"	Não-biomassa
Alcatifas	Fracção mista contendo maioritariamente "não biomassa"	Não-biomassa
Metais ferrosos	Fracção inerte contendo maioritariamente contaminações de "não-biomassa"	Inerte
Metais não ferrosos	Fracção inerte contendo maioritariamente contaminações de "não-biomassa"	Inerte

Como referido, para calcular a percentagem afecta a cada uma das categorias, após a separação manual, é necessário determinar o erro associado às mesmas. As expressões seguintes permitem determinar o erro,  $\epsilon$ , das categorias de biomassa, não-biomassa e inertes respectivamente.

O erro associado à fracção de biomassa é dado por (CEN, 2006d):

$$\epsilon_B = \left\{ \frac{100 - x_{NB}^B - x_{inerte}^B}{100 - x_{inerte}^B} \right\} \times 100 \quad (4.6)$$

Sendo:

$x_{NB}^B$  – fracção de não biomassa na categoria (após triagem) da biomassa, base seca, % m/m;

$x_{inerte}^B$  – conteúdo em cinzas na categoria (após triagem) da biomassa, base seca, % m/m;

O erro associado à fracção de não-biomassa é calculado através de (CEN, 2006d):

$$\epsilon_{NB} = \left\{ \frac{100 - x_B^{NB} - x_{inerte}^{NB}}{100 - x_{inerte}^{NB}} \right\} \times 100 \quad (4.7)$$

Sendo:

$x_B^{NB}$  – fracção de biomassa na categoria (após triagem) da não-biomassa, base seca e livre de cinzas, % m/m;

$x_{inerte}^{NB}$  – conteúdo em cinzas na categoria (após triagem) da não-biomassa, base seca e livre de cinzas, % m/m;

Por último, o erro associado à fracção de inertes é determinada por (CEN, 2006d):

$$\epsilon_B^{inerte} = \left\{ \frac{x_B^{inerte}}{x_{inerte}^{inerte}} \right\} \times 100 \quad (4.8)$$

Sendo:

$x_{inerte}^B$  – fracção de biomassa na categoria (após triagem) de inertes, base seca, % m/m;

$x_{inerte}^{inerte}$  – conteúdo em cinzas na categoria (após triagem) de inertes, base seca, % m/m;

As fracções de biomassa e não-biomassa, em percentagem mássica, na amostra seca, são por fim calculadas recorrendo às expressões 4.9 e 4.10 (CEN, 2006d):

$$X_B = \left\{ \frac{\epsilon_B \times \sum_i^n x_i^B + (1 - \epsilon_{NB}) \times \sum_i^n x_i^{NB} + \epsilon_B^{inerte} \times \sum_i^n x_i^{inerte}}{\sum_i^n x_i^B + \sum_i^n x_i^{NB} + \sum_i^n x_i^{inerte}} \right\} \times 100 \quad (4.9)$$

$$X_{NB} = \left\{ \frac{\epsilon_{NB} \times \sum_i^n x_i^{NB} + (1 - \epsilon_B) \times \sum_i^n x_i^B + \epsilon_{NB}^{inerte} \times \sum_i^n x_i^{inerte}}{\sum_i^n x_i^B + \sum_i^n x_i^{NB} + \sum_i^n x_i^{inerte}} \right\} \times 100 \quad (4.10)$$

Sendo:

$x_{Bi}$  – fracção do componente i na categoria (após triagem) da biomassa, base seca, % m/m;

$x_{NBi}$  – fracção do componente i na categoria (após triagem) da não-biomassa, base seca, % m/m;

$x_{inerte_i}$  – fracção do componente i na categoria (após triagem) dos inertes, base seca, % m/m;

A fracção inerte é calculada por diferença (CEN, 2006d):

$$x_{inerte} = 100 - x_B - x_{NB} \quad (4.11)$$

#### 4.2.2 Teor em Carbono Biogénico

A determinação do carbono biogénico recorrendo à técnica analítica do carbono total é o passo seguinte após a determinação do teor em biomassa pelo método da dissolução selectiva. Apresenta essencialmente como vantagem a possibilidade de se efectuarem balanços de carbono associados às emissões de dióxido de carbono. A técnica consiste em determinar o carbono total nas fracções obtidas antes e após a dissolução selectiva da amostra (CEN, 2006d).

A metodologia de trabalho consistiu em preparar 3 amostras, das quais as duas primeiras no mínimo conteriam 5 g, apresentando um diâmetro nominal de 1 mm. A terceira amostra foi encaminhada para análise em laboratório externo para determinação do carbono, azoto, hidrogénio e enxofre. As 2 amostras foram tratadas segundo a metodologia descrita em 4.2.1.1 pelo método da dissolução selectiva. As cinzas foram armazenadas e encaminhadas para determinação do carbono total, azoto, hidrogénio e enxofre em laboratório externo.

No caso do teor em cinzas na amostra de CSR ser superior a 10 %, o conteúdo em biomassa, expresso em carbono total, é dado por (CEN, 2006d):

$$x_B^{CT} = 100 - \left( \frac{A_{CDR} \times C_{cinzas} + x_{residuo} \times C_{residuo}}{C_{total}} \right) \quad (4.12)$$

Em que:

$A_{CDR}$  – teor em cinzas na amostra, base seca, % m/m;

$C_{cinzas}$  – teor em carbono total na fracção de cinzas, base seca, % m/m;

$x_{residuo}$  – fracção de resíduo que foi dissolvida, % m/m;

$C_{residuo}$  – teor em carbono total na fracção de não-biomassa, base seca, % m/m;

$C_{total}$  – teor em carbono total na amostra, base seca, % m/m.

No caso do teor em cinzas ser inferior a 10 % poderá utilizar-se a expressão simplificada (CEN, 2006d):

$$x_B^{CT} = 100 - \left( \frac{x_{\text{resíduo}} \times C_{\text{resíduo}}}{C_{\text{total}}} \right) \quad (4.13)$$

### 4.2.3 Poder Calorífico

Tal como referido em 3.5.1 o poder calorífico dos CSR é um dos parâmetros com maior relevância na classificação e caracterização de um combustível.

A técnica de determinação do poder calorífico superior (PCS) consiste em queimar uma amostra de combustível cuja massa é conhecida, em ambiente de oxigénio a alta pressão, numa bomba calorimétrica, e medir a diferença de temperatura ocorrida neste processo. A capacidade calorífica da bomba calorimétrica deve ser previamente determinada utilizando-se para o efeito um padrão certificado com poder calorífico conhecido, como seja o ácido benzóico (CEN, 2006e).

Na determinação do poder calorífico foi utilizado um calorímetro automático da marca LECO, modelo AC 350, com a respectiva bomba calorimétrica incorporada (Figura 4.7).



Figura 4.7 Calorímetro

Para a análise foi preparada aproximadamente 1 grama de uma amostra de CDR, tal como descrito em 4.1.3, que em seguida foi prensada, numa prensa da marca Parr, e pesada, para um cadinho, numa balança analítica com precisão à décima da miligrama. Em seguida o cadinho foi colocado numa bomba calorimétrica previamente calibrada com um grama de ácido benzóico, de  $6318 \pm 10$  cal/g e adicionados 2 ml de uma solução de

bicarbonato de sódio/carbonato de sódio a 2,5 %. Em nenhum dos ensaios foram utilizados auxiliares de combustão. Por fim utilizou-se um fio de níquel-crômio com 10 cm, a bomba foi fechada e acoplados os fusíveis que permitiram que a ignição ocorresse. Para a combustão foi utilizado oxigénio com um grau de pureza de 99,999 % à pressão de 30 bar.

Todos os ensaios foram realizados em duplicado sendo reportado o valor médio.

O poder calorífico superior (PCS) pode também ser calculado tendo em conta a análise elementar do combustível. Vários autores propuseram fórmulas matemáticas que permitem determinar o PCS. Dulong propôs a fórmula matemática apresentada na expressão seguinte (Chang *et al.*, 1997):

$$PCS = 81C + 342.5(H - 1/8O) + 22.5S \quad (\text{kcal/kg}) \quad (4.14)$$

Steuer propôs a seguinte fórmula para a determinação do PCS (Chang *et al.*, 1997):

$$PCS = 81(C - 3/8O) + 171/8O + 342.5(H - 1/16O) + 25S \quad (\text{kcal/kg}) \quad (4.15)$$

A fórmula matemática proposta por Scheurer-Kestner é (Chang *et al.*, 1997):

$$PCS = 81(C - 3/8O) + 171/4O + 342.5H + 22.55S \quad (\text{kcal/kg}) \quad (4.16)$$

O poder calorífico inferior (PCI) é efectivamente a grandeza que é utilizada em cálculos de necessidades energéticas, pelo que terá de ser posteriormente determinado. O PCI, a volume constante, que resulta de um ensaio realizado numa bomba calorimétrica, é o calor libertado por unidade de massa, durante a combustão, considerando que toda a água formada na reacção permanece no estado vapor e os restantes produtos no estado físico, à temperatura de referência (CEN, 2006e).

O poder calorífico inferior, a volume constante, foi calculado recorrendo à seguinte expressão (4.17):

$$PCI = (PCS_{m.s.} - 206,0 \times \omega(H)_{m.s.}) \times (1 - 0,01 \times Hum) - 23,05 \times Hum \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.17)$$

Onde  $PCS_{m.s.}$  é o poder calorífico superior lido na amostra seca, Hum é a percentagem de humidade no combustível e  $\omega(H)_{m.s.}$ , o teor em percentagem mássica de hidrogénio, na amostra seca.

O poder calorífico inferior pode igualmente ser estimado a partir da análise elementar do combustível. A fórmula de cálculo, elaborada por Dulong, baseia-se em que a energia gerado na combustão é igual ao somatório das energias envolvidas na combustão dos elementos que compõem o combustível, à excepção do hidrogénio e de algum oxigénio, cuja entalpia será associada à formação de água e não de reacções de combustão (Castells *et al.*, 2005).

$$PCI = 7831 \cdot C_{org} + 35935 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2212 \cdot S - 3545 \cdot C_{inorg} + 1187 \cdot O + 578 \cdot N \text{ (kcal/kgm.s)} \quad (4.18)$$

Onde:

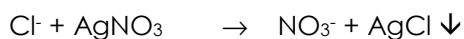
$C_{org}$ , H, O, S  $C_{inorg}$  e N são as fracções mássicas dos respectivos elementos, carbono orgânico, hidrogénio, oxigénio, enxofre, carbono inorgânico e azoto.

#### 4.2.4 Teor em Cloro

O cloro é outro parâmetro de elevada importância no âmbito da especificação e normalização de combustíveis sólidos recuperados tendo em conta o impacto negativo que traz aos possíveis consumidores nomeadamente para as cimenteiras, dada a sua criticidade para a qualidade do cimento, e os efeitos de corrosão nos fornos.

O teor em cloro nas amostras foi determinado por titulação da solução obtida após a combustão realizada conforme o procedimento descrito em 4.2.3. Após a combustão a solução remanescente foi recolhida para um balão volumétrico e titulada com uma solução de nitrato de prata a 0,014 M (APHA, 2005a).

Numa solução neutra ou ligeiramente alcalina, o cromato de potássio é utilizado para indicar o ponto final numa titulação de cloretos com nitrato de prata. O cloreto de prata precipita antes da formação do vermelho do cromato de prata. A reacção ocorrida durante a titulação é a seguinte (APHA, 2005a):



O teor em cloro na amostra, em percentagem mássica, é por fim determinado segundo:

$$\text{Teor em cloro (\%)} = \frac{(c - c_o) \times V}{m} \times 100 \quad (4.19)$$

Onde:

c – concentração em cloretos na amostra, mg/l;

$c_o$  – concentração em cloretos no branco, mg/l;



V – volume da solução, l;

M – massa da amostra, g.

#### **4.2.5 Teor em Metais Pesados**

Os metais pesados são outros dos parâmetros que se revestem de especial importância para a caracterização e classificação dos CDR dado o seu impacto no ambiente ou na qualidade dos produtos produzidos pelos consumidores dos mesmos.

Uma vez que a empresa em análise, à data de realização deste estudo, dispunha das especificações da cimenteira, foram caracterizados como metais pesados o arsénio, o cádmio, o chumbo, o cobalto, o cobre, o estanho, o antimónio, o selénio, o mercúrio, o alumínio, o potássio, o sódio, o bário, o crómio, o níquel, o tálio, o vanádio, o zinco. Os metais voláteis, como cádmio, o tálio e o mercúrio, apresentam limites muito baixos, para o sódio e potássio requer-se um controlo apertado, devido ao ciclo do alcalis que se tende a formar no pré-calcinador, o crómio por ser um requisito de qualidade do cimento apresenta também um valor limite baixo, comparativamente à toxicidade do mesmo (Comissão Científica Independente, 2006).

Todos os metais com excepção do mercúrio foram analisados pela técnica de espectrometria de emissão atómica com plasma de acoplamento indutivo num ICP-OES óptico da marca Thermo Elemental, modelo IRIS Intrepid. O mercúrio foi doseado num analisador elementar da marca/modelo LECO.

O espectrómetro de emissão atómica por plasma de acoplamento indutivo (ICP-AES) consiste em quatro componentes principais (APHA, 2005b):

- o sistema de introdução da amostra;
- a fonte de excitação;
- o espectrómetro;
- o sistema de detecção.

O sistema de introdução da amostra transporta os elementos em estudo, para a fonte de excitação, o que causa a secagem e a excitação da amostra resultando na emissão da radiação característica. O espectrómetro separa a radiação do elemento em análise e o sistema de detecção mede a intensidade da radiação seleccionada e compara-a com a intensidade conhecida do padrão de referência. A alta temperatura do plasma excita a

emissão atômica eficientemente. A ionização de uma elevada percentagem de átomos produz um espectro de emissão iônica. O ICP (Figura 4.8) fornece uma fonte de óptica “fina” que não está sujeita a auto-absorção excepto em concentrações muito elevadas (APHA, 2005b).



Figura 4.8 Espectrômetro de emissão óptica com plasma (ICP-OES)

No analisador de mercúrio (Figura 4.9) a amostra é introduzida num tubo catalítico sendo previamente seca para sofrer posterior combustão. Os produtos de decomposição vão ser arrastados por um fluxo constante de oxigénio. Os óxidos de enxofre, azoto e halogéneos formados ficam retidos no tubo, e os óxidos de mercúrio são retidos numa amálgama de ouro. O mercúrio (Hg) retido na amálgama é libertado por aquecimento e conduzido até ao detector pelo gás de arraste ( $O_2$ ). A amostra é lida em duas gamas com sensibilidades diferentes, sendo a primeira gama de 0,05 a 40 ng de Hg e a segunda de 40 a 600 ng de Hg.



Figura 4.9 Analisador de mercúrio

As amostras foram previamente preparadas conforme descrito em 4.1.3.3 e em seguida digeridas, em meio ácido, numa quantidade aproximada a 0,5 g, numa mistura de ácidos nítrico e perclórico à razão de 19:1, em vaso aberto durante pelo menos 2 horas. Após a digestão, as soluções resultantes foram filtradas, transferidas para um balão volumétrico e aferidas. Todos os ensaios foram realizados em duplicado (CEN, 2006g; CEN, 2006h).

Na quantificação do teor em mercúrio as amostras foram analisadas tal qual tendo sido pesado aproximadamente 100 mg por réplica.

### 4.3 Tratamento Estatístico dos Resultados

Segundo Pestana *et al.*, 2002, estatística, é a ciência que se ocupa da obtenção de informação, seu tratamento inicial com a finalidade de, através de resultados probabilísticos adequados, inferir de uma amostra para a população, e eventualmente mesmo prever a evolução futura de um fenómeno. No seguimento desta definição convém ainda estabelecer a distinção entre estatística descritiva e inferência estatística. A primeira refere-se à sintetização e representação de forma compreensível a informação contida num conjunto de dados. O objectivo da inferência estatística é o de com base num conjunto limitado de dados (uma amostra) a caracterização do todo a partir do qual os dados foram obtidos (a população) (Guimarães *et al.*, 1997).

Assim para que se obtenham resultados válidos devem ser seguidos alguns passos que definem o método estatístico de resolução de problemas (Reis *et al.*, 1996):

1. Identificar correctamente o problema em análise;
2. Recolher a informação necessária;
3. Classificar e organizar os dados;
4. Análise dos dados e representação dos resultados;
5. Tomada de decisão.

No âmbito das distribuições contínuas, e segundo vários autores nomeadamente Guimarães *et al.*, 1997 e Murteira *et al.*, 2007, a distribuição normal é uma das importantes, senão a mais importante, e, em consequência da sua forma e propriedades, a que mais frequentemente se utiliza para descrever fenómenos que se traduzem através de variáveis aleatórias contínuas.

A distribuição normal é definida a partir de dois parâmetros, o valor esperado ( $\mu$ ) e a variância ( $\sigma^2$ ). A respectiva função de densidade de probabilidade é definida para qualquer número real a partir de (Guimarães *et al.*, 1997):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (4.20),$$

simbolicamente representada por  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ .

Um caso particular resulta da situação em que  $\mu = 0$  e  $\sigma^2 = 1$ , e tomando a variável

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (4.21),$$

obtida a partir da transformação linear da variável Normal  $X$ , o que conduz a  $Z$  ser também Normal, obtém-se a distribuição Normal padronizada com a representação simbólica  $Z \sim N(0, 1)$  (Guimarães *et al.*, 1997 e Murteira *et al.*, 2007).

Um dos desenvolvimentos teóricos mais relevantes, no domínio da estatística, é o Teorema do Limite Central, que de forma simplificada se enuncia (Guimarães *et al.*, 1997):

“Sejam  $X_1, \dots, X_N$  variáveis aleatórias independentes com a mesma distribuição, que se admite ter variância finita. Qualquer que seja a forma da distribuição destas variáveis, se o valor  $N$

for suficientemente grande, a variável soma  $S = \sum_{n=1}^N X_n$  segue uma distribuição aproximadamente Normal.”

Deste teorema resulta imediatamente que, para uma população com variância finita, a distribuição da média amostral calculada com base numa amostra aleatória simples tende para uma distribuição Normal, à medida que a dimensão da amostra cresce (Guimarães *et al.*, 1997). O grande senão deste teorema é não referir se a convergência é rápida ou lenta, isto é, a partir de quantas parcelas se poderá aproximar a soma por uma Normal com o mesmo valor médio e variância. Por regra aproxima-se sempre que  $N \geq 30$ , embora possam ocorrer excepções (Pestana *et al.*, 2002). Guimarães *et al.*, 1997 referem ainda sobre esta matéria que se poderá considerar uma aproximação à Normal para  $N \geq 10$ , se a distribuição original for simétrica e  $N \geq 50$ , nos casos em que a distribuição original é muito assimétrica.

#### 4.3.1 Testes à Normalidade

Por forma a avaliar a qualidade dos resultados obtidos procedeu-se ao tratamento estatístico dos mesmos.

Murteira *et al.* (2007) definem por hipótese estatística quando se efectua uma conjectura sobre aspectos desconhecidos de uma população com função de distribuição  $F$ . Quando a forma da função de distribuição da população ou da função densidade é (suposta) conhecida e a conjectura concerne apenas ao parâmetro está-se perante uma hipótese paramétrica (Murteira *et al.*, 2007). No caso particular, apresentado nesta dissertação, desconhecem-se os comportamentos dos diversos parâmetros analisados para a população em estudo pelo que terá de se recorrer a testes de hipóteses não paramétricos.

Exemplo de teste de hipóteses não paramétricos ou de ajustamento, é o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), que parte do pressuposto que a distribuição indicada na hipótese nula está completamente especificada (Reis *et al.*, 1996).

O teste K-S tem por base a análise da proximidade entre a função de distribuição,  $F_0(x)$ , que corresponde à hipótese nula ( $H_0$ ) e a função de distribuição da amostra,  $F(x)$ . A estatística deste teste, designada por  $D$ , corresponde ao supremo da diferença em valor absoluto entre  $F(x)$  e  $F_0(x)$ , quando se consideram todos os valores possíveis de  $X$ . Após a especificação do nível de significância do teste, o valor  $D$  é comparado com o respectivo valor crítico e, em função do resultado,  $H_0$ , é ou não rejeitada (Guimarães *et al.*, 1997). Tal como referido o teste de K-S carece de especificação da função de distribuição nomeadamente o conhecimento dos parâmetros estatísticos, o que nem sempre é possível, conduzindo assim a níveis de significância superiores aos reais (Murteira, 1990). Para ultrapassar esta situação Lilliefors estudou o comportamento da estatística  $D$  para as situações em que a distribuição é Normal, mas em que os seus parâmetros são estimados a partir dos dados amostrais, e adaptou o teste de K-S obtendo assim outras tabelas de limiares de significância.

O teste de Shapiro-Wilk é um teste igualmente utilizado para testar a aproximação de um conjunto de dados a uma distribuição Normal com  $\mu$  e  $\sigma$  desconhecidos. É um teste particularmente adequado para amostras de dimensão pequena. A variável estatística do

teste Shapiro-Wilk,  $W$ , é dada por  $W = \frac{\left( \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ , onde  $\bar{x}$  é a média dos dados

experimentais.

Para avaliar se a hipótese nula deve ser rejeitada, a probabilidade associada ao teste estatístico (i.e. o valor de  $p$ ) tem de ser analisada e no caso de ser inferior ao nível de significância, neste caso é 0,05 para 95%, a hipótese de os dados serem compatíveis com uma distribuição normal deve ser rejeitada (Grzybeck, 2007).

Em suma para ambos os testes o que se pretende avaliar e, quando aplicável rejeitar, são as seguintes hipóteses:

$H_0$ :  $X$  tem distribuição normal

$H_a$ :  $X$  não tem essa distribuição

Concretizando, com o objectivo de averiguar se os dados experimentais obtidos para os diversos parâmetros testados neste estudo se aproximam a uma distribuição normal, realizaram-se os testes de Kolmogorov-Smirnov, com a correcção de Lilliefors, e Shapiro-Wilk, utilizando o programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) – versão 17.0 para Windows. A escolha do teste a utilizar depende da dimensão da amostra e da preferência do utilizador por testes mais ou menos rigorosos. O teste de Shapiro-Wilk tende a rejeitar a hipótese nula ao contrário do teste K-S que retém a hipótese nula em condições duvidosas (Riffenburgh, 2005).

Não se procedeu a tratamento estatístico dos parâmetros Vanádio, Cobalto, Níquel, Arsénio, Selénio e Tálho uma vez que os resultados obtidos foram sistematicamente inferiores aos respectivos limites de quantificação ou de detecção dos métodos. Nos parâmetros que continham alguns valores inferiores aos respectivos limites de quantificação considerou-se o valor 0 para o cálculo dos diversos elementos estatísticos.

Apresentam-se nos Quadros 4.5 e 4.6 os resultados obtidos referentes aos testes estatísticos realizados. No Apêndice X apresentam-se os respectivos histogramas para cada um dos parâmetros estudados.

Quadro 4.5 Resultados dos testes à normalidade

Parâmetro	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
% Biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2007)	0,191	20	0,055	0,913	20	<b>0,073</b>
% Biomassa (método dissolução selectiva) - Finos (2007)	0,121	19	<b>0,200*</b>	0,953	19	<b>0,444</b>
% Biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2008)	0,169	9	<b>0,200*</b>	0,938	9	<b>0,566</b>
% Biomassa (método dissolução selectiva) - Finos (2008)	0,129	8	<b>0,200*</b>	0,955	8	<b>0,761</b>
% Biomassa (método da triagem) - CDR (2007)	0,166	10	<b>0,200*</b>	0,957	10	<b>0,750</b>
% Biomassa (método da triagem) - CDR (2008)	0,176	9	<b>0,200*</b>	0,885	9	<b>0,175</b>
% Biomassa (método do CT) - CDR (2007)	0,147	15	<b>0,200*</b>	0,954	15	<b>0,591</b>
% Biomassa (método do CT) - Finos (2007)	0,208	16	0,062	0,934	16	<b>0,285</b>
% Biomassa (método do CT) - CDR (2008)	0,139	9	<b>0,200*</b>	0,973	9	<b>0,920</b>
% Biomassa (método do CT) - Finos (2008)	0,202	8	0,200*	0,928	8	<b>0,502</b>
% Humidade - CDR (2007)	0,107	18	<b>0,200*</b>	0,965	18	<b>0,705</b>
% Humidade - CDR (2008)	0,184	9	<b>0,200*</b>	0,937	9	<b>0,550</b>
PCI cal/g- CDR (2007)	0,127	14	<b>0,200*</b>	0,957	14	<b>0,679</b>
PCI cal/g - CDR (2008)	0,208	9	0,200*	0,891	9	<b>0,206</b>
% Cloro m.s. - CDR (2007)	0,115	18	<b>0,200*</b>	0,938	18	<b>0,270</b>
% Cloro m.s. - CDR (2008)	0,169	9	<b>0,200*</b>	0,964	9	<b>0,836</b>

<sup>a</sup> – Correção de Lilliefors

\* - Corresponde ao intervalo inferior de significância

CT – carbono total

m.s. – matéria seca

Assinalam-se a azul os parâmetros em que a hipótese do comportamento, da característica em análise, ser aproximado a uma distribuição Normal não é rejeitada para um nível de confiança de 99 %. Tal como seria de esperar, verifica-se na generalidade que os metais apresentam pior aproximação à normalidade que os restantes parâmetros. A variabilidade observada, para os resultados obtidos, será abordada no capítulo 5.

Quadro 4.6 Resultados dos testes à normalidade - metais

Parâmetro	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Cr mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,304	18	0,000	0,614	18	0,000
Cr mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,284	9	0,035	0,689	9	0,001
Cu mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,425	18	0,000	0,357	18	0,000
Cu mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,445	9	0,000	0,432	9	0,000
Zn mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,293	18	0,000	0,664	18	0,000
Zn mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,231	9	0,182	0,807	9	0,025
Cd mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,237	18	0,009	0,707	18	0,000
Cd mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,348	9	0,002	0,737	9	0,004
Sn mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,372	18	0,000	0,402	18	0,000
Sn mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,325	9	0,007	0,796	9	0,018
Sb mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,295	18	0,000	0,803	18	0,002
Sb mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,321	9	0,008	0,829	9	0,043
Ba mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,127	18	0,200*	0,933	18	0,221
Ba mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,163	9	0,200*	0,922	9	0,406
Pb mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,327	18	0,000	0,664	18	0,000
Pb mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,308	9	0,014	0,634	9	0,000
Al mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,142	18	0,200*	0,901	18	0,060
Al mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,163	9	0,200*	0,881	9	0,160
Alcalis mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,343	18	0,000	0,745	18	0,000
Alcalis mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,151	9	0,200*	0,966	9	0,854
Hg mg/kg m.s. - CDR (2007)	0,190	18	0,083	0,888	18	0,036
Hg mg/kg m.s. - CDR (2008)	0,273	9	0,052	0,836	9	0,052

<sup>a</sup> – Correção de Lilliefors

\* - Corresponde ao intervalo inferior de significância

m.s. – matéria seca



### 4.3.2 Determinação da Dimensão da Amostra

A dimensão mínima de uma amostra, cuja população segue uma distribuição Normal, para uma determinada precisão e um nível de confiança  $\alpha$  é calculada assumindo que, se  $z(\alpha/2)$  é um valor tal que  $P[Z > z(\alpha/2)] = \alpha/2$  e que  $-z(\alpha/2)$  é o valor simétrico que  $P[Z < -z(\alpha/2)] = \alpha/2$ , tem-se (Guimarães *et al.*, 1997):

$$P[-z(\alpha/2) < Z < z(\alpha/2)] = 1 - \alpha \text{ ou } P[-z(\alpha/2) < \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{N}} < z(\alpha/2)] = 1 - \alpha, \text{ logo}$$

$$P\left[\mu - z(\alpha/2) \cdot \sigma / \sqrt{N} < \bar{X} < \mu + z(\alpha/2) \cdot \sigma / \sqrt{N}\right] = 1 - \alpha, \text{ que reagrupando se obtém,}$$

$$P\left[\bar{X} - z(\alpha/2) \cdot \sigma / \sqrt{N} < \mu < \bar{X} + z(\alpha/2) \cdot \sigma / \sqrt{N}\right] = 1 - \alpha.$$

O intervalo de confiança, para o valor esperado  $\mu$  a  $(1-\alpha) \cdot 100\%$ , é assim dado por:

$$\left[\bar{X} - z(\alpha/2) \cdot \sigma / \sqrt{N}, \bar{X} + z(\alpha/2) \cdot \sigma / \sqrt{N}\right]$$

Logo a amplitude do intervalo (precisão da estimativa),  $\Delta$ , para um grau de confiança  $1-\alpha$  é  $2 \cdot z_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{N}$  e o valor de  $N$  será calculado por (Murteira *et al.*, 2007):

$$N \geq \left(\frac{2 \cdot z_{\alpha/2} \sigma}{\Delta}\right)^2 \quad (4.22)$$

No caso em estudo irá tomar-se o grau de confiança de 95 %, por ser dos mais comuns, embora se possa utilizar também a 99 % ou a 99,9 %, e uma precisão de  $\pm 10$  %, por ser a usada na bibliografia consultada (veja-se por exemplo na alínea 4.1.2.2) (Reis *et al.*, 1996).

Considerando a média e o desvio padrão amostral, o menor valor de  $N$ , para se obter uma precisão de 10 % encontra-se descrito nos Quadros 4.7 e 4.8.

Quadro 4.7 Determinação da dimensão da amostra mínima (N)

Parâmetro	Média	Desvio padrão amostral	Coefficiente de confiança	$\Delta$	N* mínimo
% Biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2007)	58,1	4,7	1,96	5,8	2,6
% Não-biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2007)	31,4	5,4	1,96	3,1	11,2
% Biomassa (método dissolução selectiva) - Finos (2007)	52,5	7,8	1,96	5,3	8,4
% Não-biomassa (método dissolução selectiva) - Finos (2007)	22,9	5,0	1,96	2,3	18,2
% Biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2008)	59,1	4,8	1,96	5,9	2,6
% Não-biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2008)	28,4	2,7	1,96	2,8	3,3
% Biomassa (método dissolução selectiva) - Finos (2008)	68,9	6,9	1,96	6,9	3,8
% Não-biomassa (método dissolução selectiva) - Finos (2008)	14,2	4,9	1,96	1,4	46
% Biomassa (método da triagem) - CDR (2007)	57,4	3,8	1,96	5,7	1,7
% Não-biomassa (método da triagem) - CDR (2007)	32,1	3,9	1,96	3,2	5,7
% Biomassa (método da triagem) - CDR (2008)	64,1	5,4	1,96	6,4	2,7
% Não-biomassa (método da triagem) - CDR (2008)	23,3	3,9	1,96	2,3	10,9
% Biomassa (método do CT) - CDR (2007)	68,8	11,8	1,96	6,9	11,3
% Biomassa (método do CT) - Finos (2007)	90,1	4,4	1,96	9,0	0,9
% Biomassa (método do CT) - CDR (2008)	68,9	9,0	1,96	6,9	6,5
% Biomassa (método do CT) - Finos (2008)	75,4	14,8	1,96	7,5	14,8
% Humidade - CDR (2007)	6,2	2,1	1,96	0,6	42
% Humidade - CDR (2008)	6,6	3,3	1,96	0,7	96
PCI cal/g - CDR (2007)	4069	366	1,96	407	3,1
PCI cal/g - CDR (2008)	4149	454	1,96	415	4,6
Cloro % m.s. - CDR (2007)	0,95	0,50	1,96	0,1	108
Cloro % m.s. - CDR (2008)	0,96	0,34	1,96	0,1	49

\* Para os parâmetros associados à "% Biomassa" verificou-se que o  $N_{\text{mínimo}}$  para o cálculo da "% Não-biomassa" era superior devido ao desvio padrão amostral ser proporcionalmente maior. Face a este resultado optou-se por determinar o  $N_{\text{mínimo}}$  para essas situações. O valor a considerar terá de ser o mais desfavorável, logo a situação em que o  $N_{\text{mínimo}}$  é maior.

Quadro 4.8 Determinação da dimensão da amostra mínima (N) – metais

Parâmetro	Média	Desvio padrão amostral	Coefficiente de confiança	$\Delta$	N mínimo
Cr mg/kg m.s. - CDR (2007)	69,8	110,9	1,96	7,0	970
Cr mg/kg m.s. - CDR (2008)	9,7	15,9	1,96	1,0	1029
Cu mg/kg m.s. – CDR (2007)	65,0	143,4	1,96	6,5	1872
Cu mg/kg m.s. – CDR (2008)	419,4	1089,8	1,96	41,9	2594
Zn mg/kg m.s - CDR (2007)	161,9	189,9	1,96	16,2	528
Zn mg/kg m.s - CDR (2008)	268,7	206,0	1,96	26,9	226
Cd mg/kg m.s. – CDR (2007)	2,1	2,9	1,96	0,2	725
Cd mg/kg m.s. – CDR (2008)	1,8	2,2	1,96	0,2	605
Sn mg/kg m.s. - CDR (2007)	24,2	63,9	1,96	2,4	2679
Sn mg/kg m.s. - CDR (2008)	16,0	9,8	1,96	1,6	144
Sb mg/kg m.s. – CDR (2007)	26,6	32,3	1,96	2,7	569
Sb mg/kg m.s. – CDR (2008)	16,2	10,5	1,96	1,6	165
Ba mg/kg m.s. – CDR (2007)	40,1	14,6	1,96	4,0	50
Ba mg/kg m.s. – CDR (2008)	830,0	464,4	1,96	83,0	120
Pb mg/kg m.s. – CDR (2007)	20,2	24,7	1,96	2,0	569
Pb mg/kg m.s. – CDR (2008)	29,6	20,5	1,96	3,0	181
Al mg/kg m.s. - CDR (2007)	3824,2	2285,0	1,96	382,4	137
Al mg/kg m.s. - CDR (2008)	2449,1	1448,6	1,96	244,9	134
Alcalis mg/kg m.s. - CDR (2007)	2463,6	1859,5	1,96	246,4	219
Alcalis mg/kg m.s. - CDR (2008)	3248,9	1581,0	1,96	324,9	91
Hg mg/kg m.s. – CDR (2007)	0,04	0,03	1,96	0,004	275
Hg mg/kg m.s. – CDR (2008)	0,08	0,04	1,96	0,008	369

### 4.3.3 Determinação do Intervalo de Confiança

Nos casos em estudo, uma vez que  $\mu$  é desconhecido e a dimensão das amostras é inferior a 30, está-se em condições de utilização da distribuição t-Student o que permite transformar a expressão anterior de intervalo de confiança, para distribuições normais, em :

$\left[ \bar{X} - t_{n-1}(\alpha/2) \cdot S / \sqrt{N}, \bar{X} + t_{n-1}(\alpha/2) \cdot S / \sqrt{N} \right]$ , pelo que a amplitude do intervalo,  $\Delta$ , é dada por:

$$\Delta = 2 \cdot t_{n-1}(S' / \sqrt{N}) \text{ (Murteira et al., 2007; Guimarães et al., 1997; Murteira, 1990).}$$

No cálculo do intervalo de confiança foram considerados a média e o desvio padrão amostral e o valor de N efectivo. O desvio padrão amostral é uma medida de dispersão dos dados relativamente à média, no caso de ocorrer pouca dispersão, os desvios devem ser globalmente pequenos (Murteira et al., 2007; Guimarães et al., 1997). Adicionalmente

apresenta-se o desvio padrão da média dado por  $s/\sqrt{N}$ , sendo  $s$  o desvio padrão amostral (Pestana *et al.*, 2002).

Neste estudo determinou-se igualmente a mediana, que, além da média, é também uma medida de localização. De forma aproximada, a mediana é o valor da colecção de dados que tem 50 % de observações inferiores e 50 % de observações superiores (Murteira *et al.*, 2007).

Por último determinaram-se os coeficientes de variação, para o cloro e para os metais, que é uma característica amostral de dispersão que relativiza o desvio padrão em termos da média sendo dado por:  $CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$  (Pestana *et al.*, 2002).

Muito embora alguns parâmetros não sigam claramente uma distribuição normal, os cálculos foram efectuados considerando como tal, o que permitirá obter valores indicativos.

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante a realização dos ensaios experimentais para as duas linhas de produção em estudo. Para todos os parâmetros analisados não foram rejeitados valores uma vez que não se identificaram razões para o fazer, dada a heterogeneidade dos materiais em estudo.

### 5.1 Determinação do Teor em Biomassa

#### 5.1.1 Método da Dissolução Selectiva

Tal como descrito em 4.2.1.1, procedeu-se à pesagem de aproximadamente 5 gramas de duas amostras, previamente preparadas para cada um dos elementos em estudo. Numa das amostras foi determinado o teor em cinzas. Os resultados obtidos são os apresentados nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4.

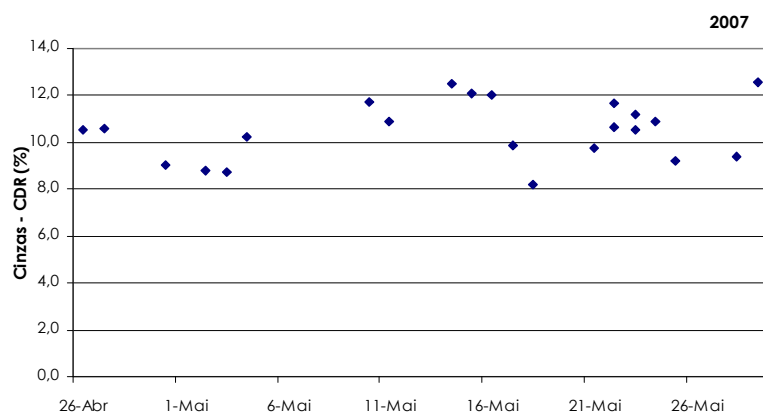


Figura 5.1 Teor em cinzas no CDR - 2007

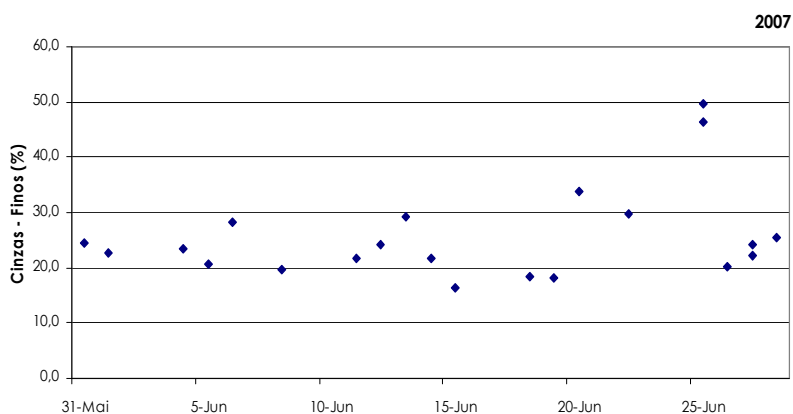


Figura 5.2 Teor em cinzas nos finos - 2007

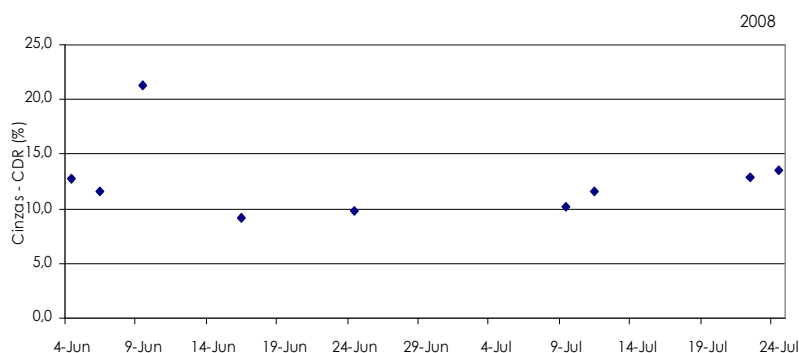


Figura 5.3 Teor em cinzas no CDR - 2008

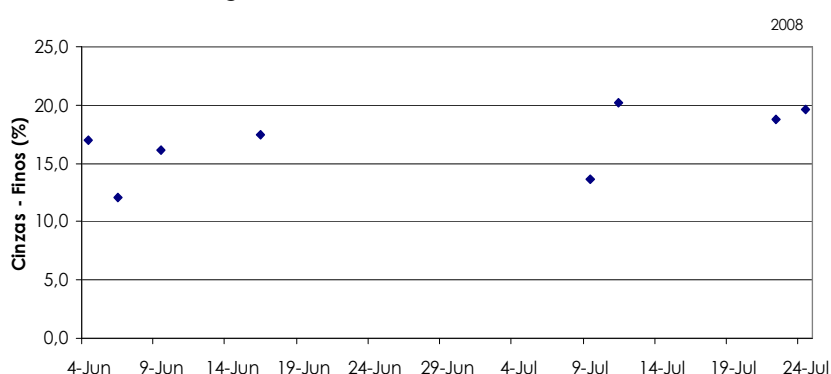


Figura 5.4 Teor em cinzas nos finos - 2008

Os valores experimentais que permitiram obter os resultados acima apresentados encontram-se disponíveis no Apêndice IV.

Verifica-se, pela análise dos quadros que o teor em cinzas no ano 2007 apresenta valores superiores aos restantes fluxos. Tendo em conta a linha de processamento existente em 2007 esta diferença é facilmente explicada pelo facto de a proporção de materiais inertes (partículas geralmente de dimensão inferior) no fluxo de "Finos" com diâmetro nominal de 18 mm ser superior quando o mesmo fluxo apresenta um calibre máximo de 30 mm. Complementarmente a mesma teoria pode ser aplicada para explicar as diferenças entre os fluxos de CDR e Finos em ambos os anos em estudo.

Nas amostras sujeitas à dissolução ácida foram determinados os teores em biomassa e não-biomassa recorrendo às expressões 4.3 e 4.5. Os valores médios obtidos nos anos 2007 e 2008 são os constantes das Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8.

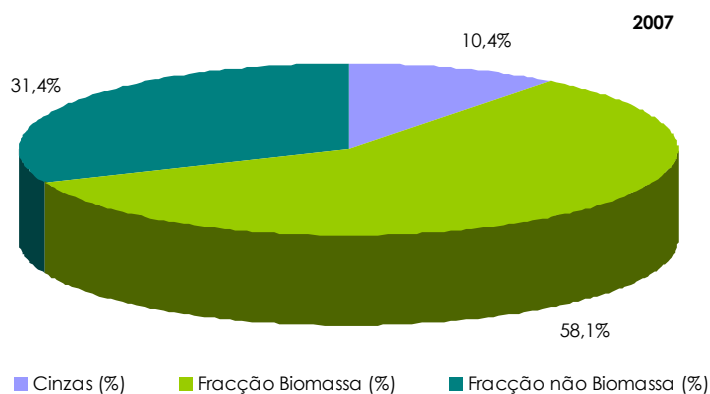


Figura 5.5 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução no CDR – 2007

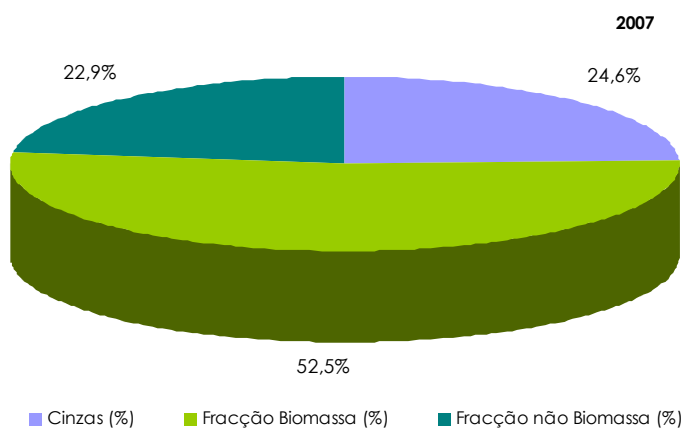


Figura 5.6 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução nos finos – 2007

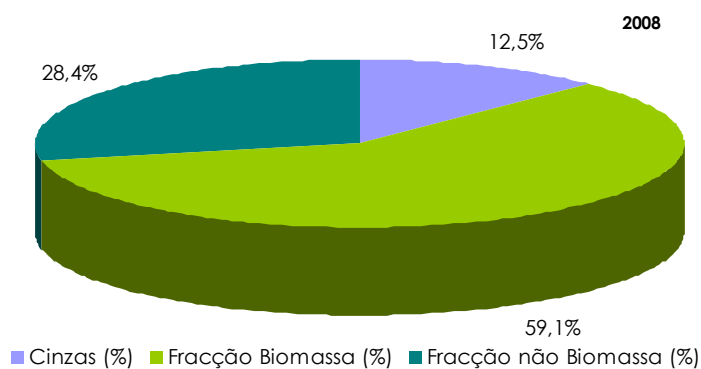


Figura 5.7 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução no CDR – 2008

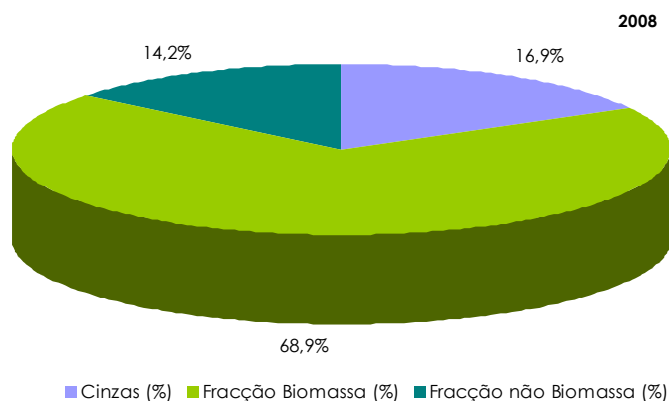


Figura 5.8 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da dissolução nos finos – 2008

Os resultados brutos referentes a esta determinação encontram-se no Apêndice IV.

Estatisticamente não se verificaram diferenças entre os resultados obtidos no CDR em 2007 e 2008. Relativamente às amostras de Finos e, tal como já referido, a proporção de materiais incombustíveis em 2007 era superior, o que se denota pelo valor obtido em cinzas e o decréscimo nas restantes fracções.

### 5.1.2 Método da Triagem Manual

Tal como referido no ponto 4.2.1.2 efectuou-se em paralelo a determinação do teor em biomassa pelo método da triagem manual. Esta técnica apenas foi utilizada nas amostras de CDR uma vez que nos Finos seria muito difícil separar nas diferentes fracções. As massas de amostra utilizadas no método de triagem são as constantes das Figuras 5.9 e 5.10.

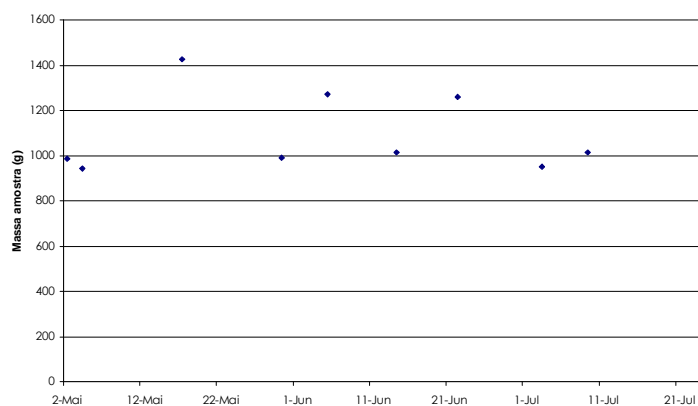


Figura 5.9 Quantidade de amostra utilizada no método da triagem manual - 2007



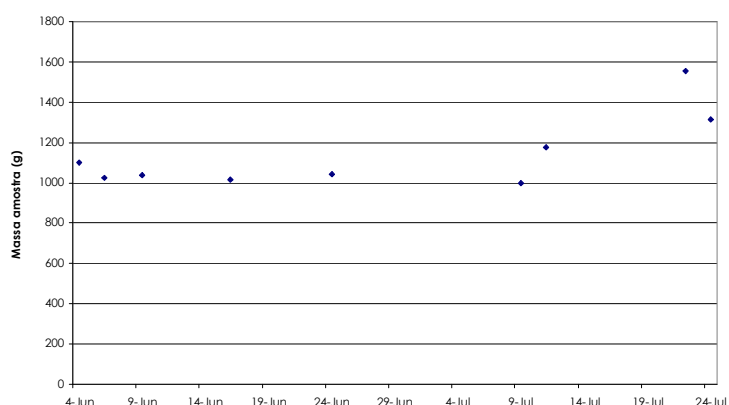


Figura 5.10 Quantidade de amostra utilizada no método da triagem manual - 2008

Relativamente às fracções que originam as diferentes categorias, biomassa e não-biomassa, optou-se por simplificar e agrupar, tendo em conta que, tratando-se de resíduos industriais a quantidade, após triagem, em algumas fracções seria praticamente nula. A quantidade de finos foi determinada gravimetricamente após crivagem num peneiro calibrado de 10 mm da marca Retsch. As fracções em que as diferentes amostras foram separadas são a seguir apresentadas (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 Classificação das fracções na triagem manual

<b>Fracção:</b>	<b>A fracção foi considerada na categoria:</b>
Orgânicos	Biomassa
Papel/cartão + Papel "Tissue"	Biomassa
Madeira	Biomassa
Têxteis (roupa)	Biomassa
Peles/borracha	Biomassa
Vidro	Inerte
Minerais	Inerte
Finos	Inerte
Plástico flexível + Alcatifas	Não-biomassa
Plástico rígido	Não-biomassa
Metais ferrosos	Inerte
Metais não ferrosos	Inerte

A categoria de biomassa apresenta a distribuição média, nas diferentes fracções, constantes das Figuras 5.11 e 5.12.

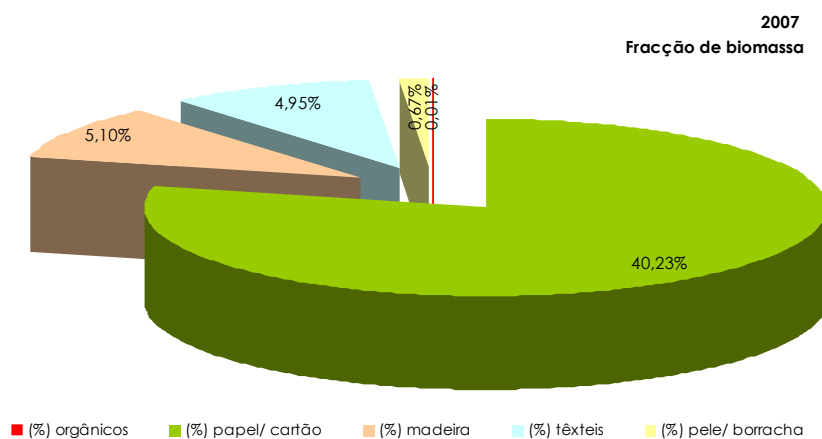


Figura 5.11 Distribuição da categoria biomassa - 2007

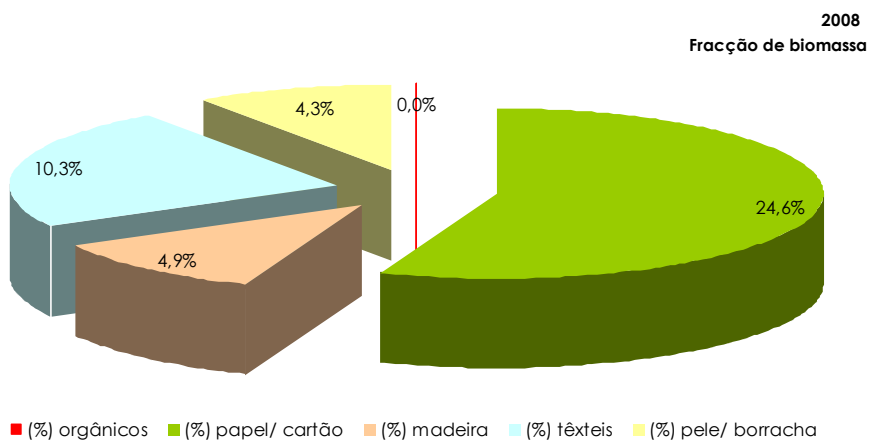


Figura 5.12 Distribuição da categoria biomassa - 2008

Procedeu de igual modo para a categoria da não-biomassa apresentando-se nas Figuras 5.13 e 5.14 os valores médios obtidos.

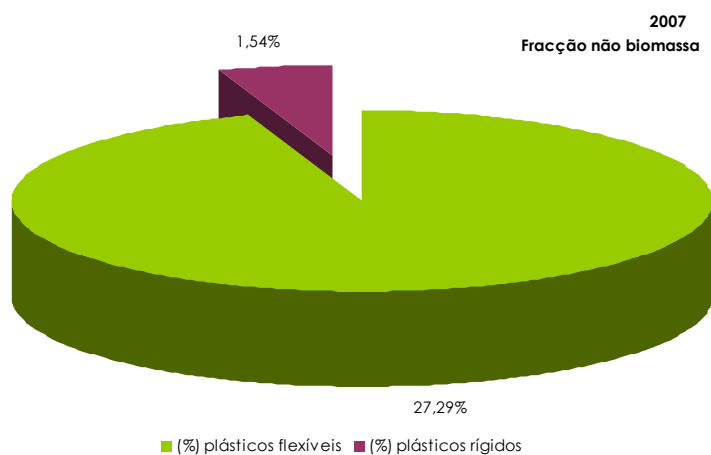


Figura 5.13 Distribuição da categoria não biomassa - 2007

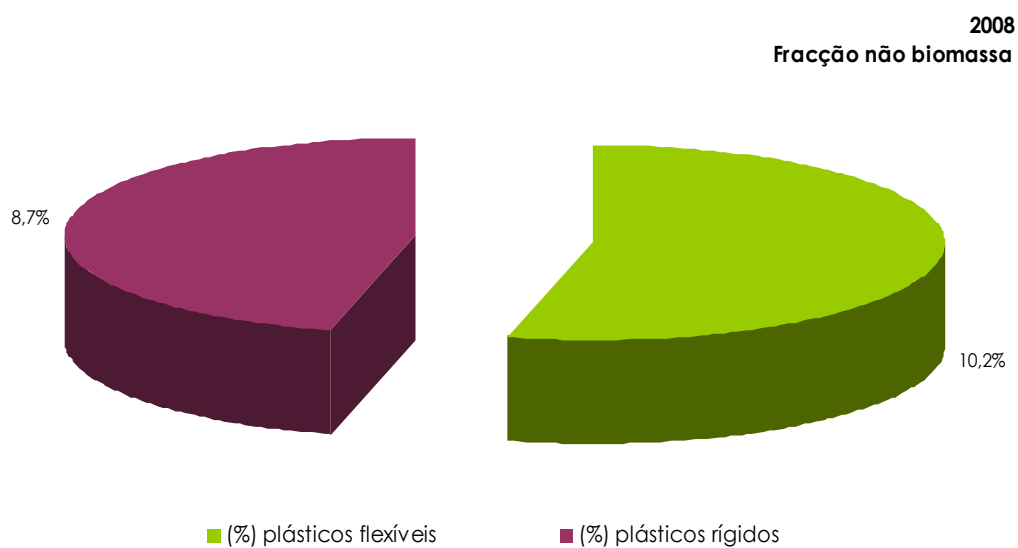


Figura 5.14 Distribuição da categoria não biomassa - 2008

Por fim, procedeu-se ao cálculo das diferentes fracções na categoria dos inertes, apresentando-se nas Figuras 5.15 e 5.16 os resultados obtidos.

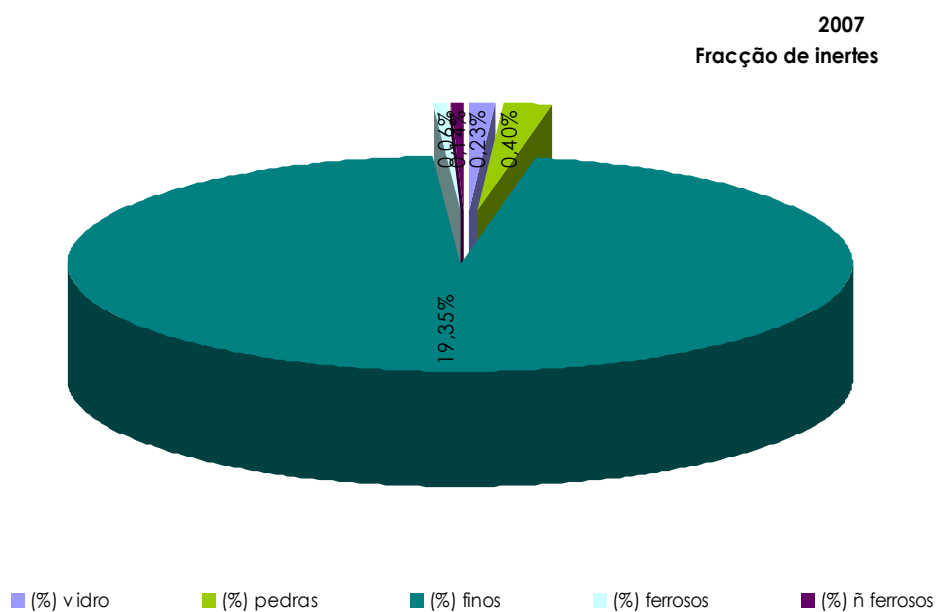


Figura 5.15 Distribuição da categoria inertes - 2007

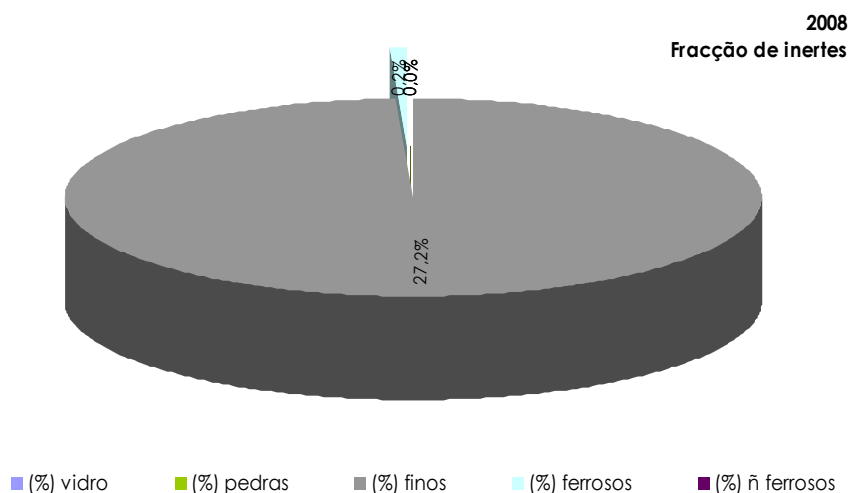


Figura 5.16 Distribuição da categoria inertes - 2008

Em resumo, as diferentes categorias agrupam-se percentualmente, em média, da forma a seguir apresentada (Figuras 5.17 e 5.18).

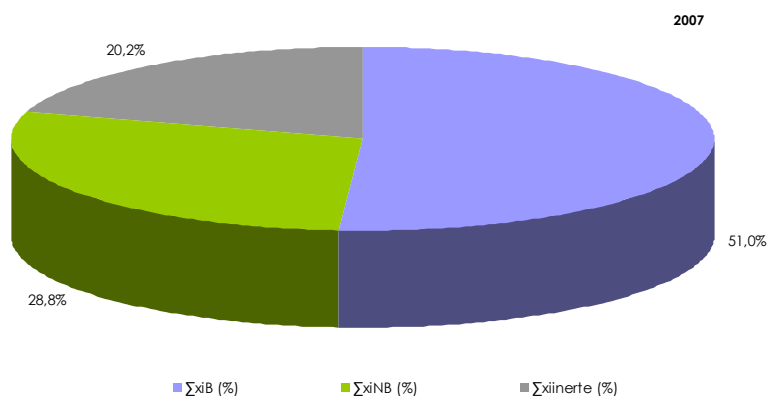


Figura 5.17 Distribuição das categorias - 2007

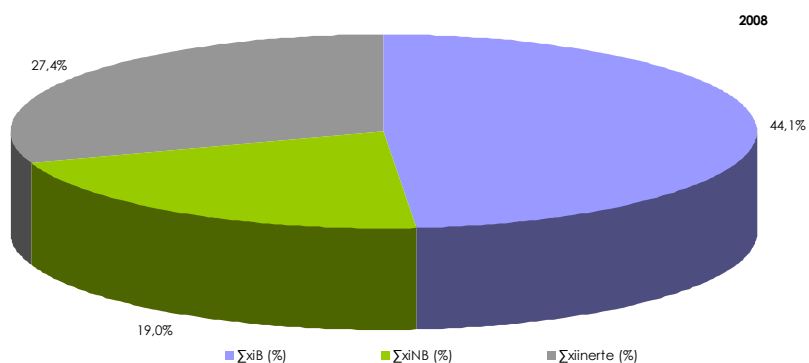


Figura 5.18 Distribuição das categorias - 2008

As fracções de biomassa ( $X_B$ ) e não biomassa ( $X_{NB}$ ), que permitem calcular o erro associado à triagem e às “impurezas” dos materiais, foram determinadas, após a aplicação do

método da dissolução selectiva, nas diferentes categorias. Os quadros seguintes (Quadros 5.2 e 5.3) apresentam os valores obtidos para as cinzas e para fracções de biomassa e não-biomassa nas diferentes categorias.

Quadro 5.2 Fracções de cinzas, biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2007

Amostra (2007)	Biomassa			Não biomassa			Inertes		
	Cinzas (%)	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)	Cinzas (%)	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)	Cinzas (%)	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)
1	9,1	82,0	8,9	5,8	20,6	73,6	9,5	64,7	25,7
2	12,7	78,0	9,3	7,1	20,4	72,5	11,6	57,1	31,3
3	11,6	73,8	14,6	8,7	17,7	73,5	15,1	50,1	34,8
4	13,7	80,0	6,2	4,8	12,9	82,3	13,4	58,2	28,4
5	11,4	79,0	9,6	5,4	12,1	82,5	12,7	58,1	29,1
6	11,2	81,8	7,0	3,5	9,0	87,5	11,8	58,1	30,1
7	10,8	78,0	11,2	6,7	12,7	80,6	10,3	56,4	33,3
8	10,3	68,7	21,0	5,6	19,4	75,0	10,5	68,8	20,7
9	10,2	81,0	8,8	5,9	16,6	77,5	10,1	65,9	24,0
10	13,7	81,4	4,9	11,0	25,8	63,2	30,5	49,9	19,6

Quadro 5.3 Fracções de cinzas, biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2008

Amostra (2008)	Biomassa			Não biomassa			Inertes		
	Cinzas (%)	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)	Cinzas (%)	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)	Cinzas (%)	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)
1	13,3	66,0	20,7	6,7	13,2	80,1	11,7	70,7	17,6
2	9,7	76,2	14,1	8,5	23,9	67,6	9,7	85,6	4,7
3	13,7	71,1	15,3	11,3	16,7	72,0	13,0	78,8	8,2
4	15,3	74,2	10,5	7,0	28,9	64,2	12,8	79,4	7,8
5	10,8	77,4	11,8	7,6	23,2	69,2	11,6	80,4	7,9
6	13,0	73,6	13,4	6,7	29,7	63,6	11,8	86,1	2,1
7	11,7	78,9	9,5	7,8	33,0	59,2	12,2	81,7	6,2
8	12,6	67,5	19,9	6,9	27,8	65,3	11,0	65,3	23,7
9	10,9	81,6	7,4	7,6	26,0	66,5	11,6	68,8	19,6

Recorrendo às expressões 4.9, 4.10 e 4.11 obtiveram-se os valores médios para as diferentes fracções, do CDR, pela aplicação do método da triagem manual (Figuras 5.19 e 5.20).

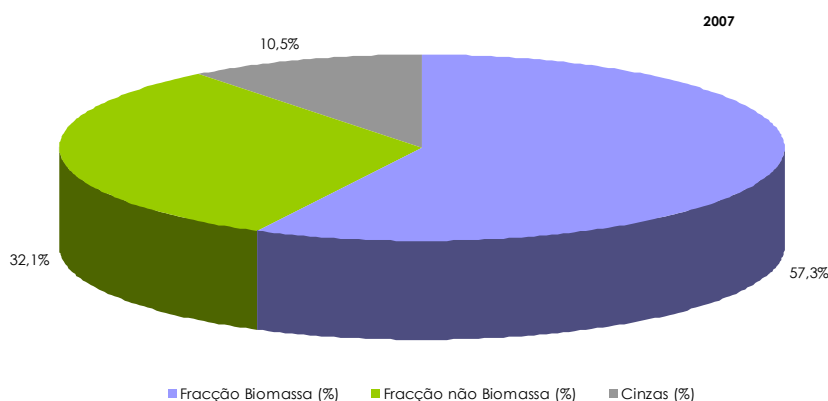


Figura 5.19 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da triagem manual no CDR - 2007

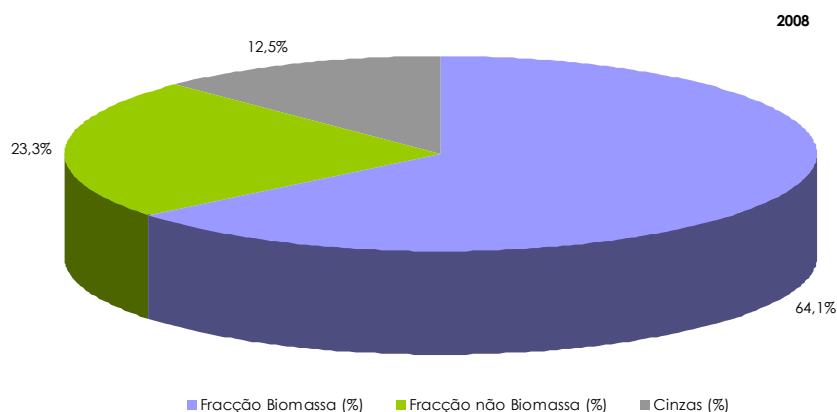


Figura 5.20 Distribuição das fracções biomassa e não-biomassa pelo método da triagem manual no CDR – 2008

Em 2008 verifica-se um aumento expressivo no teor em inertes, que na prática corresponde a um acréscimo da fracção de material inferior a 1 mm. Efectivamente esta variação está associada ao facto de em 2008 a matéria prima ter sido submetida a duas pré-triturações, o que conduz a um aumento da quantidade de partículas finas, que não são removidas na sua totalidade na operação de crivagem. Como consequência da diferença de comportamento dos materiais (papel, cartão, plástico, têxteis, etc.) no processo de trituração, verifica-se que a fracção mais afectada por esta alteração é a “papel/cartão” e consecutivamente a categoria de biomassa. Todavia quando o material é processado em conjunto pelo método da dissolução selectiva, deixa-se de observar a referida diferença, veja-se por exemplo o aumento da fracção de biomassa na categoria de inertes em 2008 (Quadros 5.2 e 5.3).

### 5.1.3 Síntese dos Resultados

Comparativamente aos resultados obtidos pelo método directo da dissolução selectiva observa-se uma boa concordância com os valores resultantes do método da triagem manual o que nos permite concluir que os métodos são reproduzíveis. Os Finos apresentam genericamente uma maior dispersão de valores devido ao facto de apresentarem maior variabilidade no teor em cinzas (Figuras 5.1 a 5.4).

No Quadro 5.4 consta um resumo dos resultados obtidos com os respectivos dados estatísticos.

Quadro 5.4 Biomassa no CDR e finos

Parâmetro	N	Média (%)	Desvio padrão média (%)	IC da média (95 % de confiança)	Mediana (%)	Desvio padrão amostral (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
% Biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2007)	20	58,1	1,1	[55,9; 60,3]	58,3	4,7	45,1	65,7
% Biomassa (método dissolução selectiva) - finos (2007)	19	52,5	1,8	[48,8; 56,3]	54,4	7,8	32,2	68,1
% Biomassa (método dissolução selectiva) - CDR (2008)	9	59,1	1,6	[55,4; 62,8]	59,5	4,8	50,1	64,9
% Biomassa (método dissolução selectiva) - finos (2008)	8	68,9	2,4	[63,2; 74,7]	68,6	6,9	60,2	79,6
% Biomassa (método da triagem) - CDR (2007)	10	57,4	1,2	[54,6; 60,1]	56,9	3,8	52,0	64,4
% Biomassa (método da triagem) - CDR (2008)	9	64,1	1,8	[60,0; 68,3]	65,8	5,4	57,1	70,5

## 5.2 Determinação do Teor em Carbono Biogénico

O teor em carbono biogénico no CDR e Finos foi calculado pela aplicação da metodologia descrita em 4.2.2. Mais uma vez foi necessário determinar a fracção de não biomassa pelo método da dissolução selectiva, tendo-se obtido os seguintes valores (Quadros 5.5 e 5.6).

Quadro 5.5 Fracções de cinzas e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2007

Amostra (2007)	CDR		finos	
	Cinzas (%)	X <sub>NB</sub> (%)	Cinzas (%)	X <sub>NB</sub> (%)
1	10,6	24,8	24,5	16,6
2	9,0	28,5	22,7	24,4
3	8,8	25,9	23,4	18,5
4	8,7	25,1	20,7	1,6
5	10,2	29,6	28,3	2,2
6	11,7	18,4	19,6	15,2
7	10,9	29,0	21,7	19,2
8	12,5	26,2	24,3	19,1
9	12,1	20,7	29,2	27,4
10	12,0	27,8	21,6	19,9
11	9,9	38,2	16,4	23,1
12	8,2	43,6	18,4	20,7
13	9,8	29,6	18,1	19,0
14	11,2	29,1	33,7	11,4
15	10,8	27,6	29,9	19,8
16			47,9	11,4

Quadro 5.6 Fracções de cinzas e não biomassa pelo método da dissolução selectiva - 2008

Amostra (2008)	CDR		finos	
	Cinzas (%)	X <sub>NB</sub> (%)	Cinzas (%)	X <sub>NB</sub> (%)
1	12,7	26,4	17,0	17,1
2	11,6	21,3	12,1	21,9
3	21,3	11,7	16,1	18,2
4	9,1	17,4	17,5	27,9
5	9,8	21,8	13,7	10,7
6	10,3	30,2	20,2	2,8
7	11,6	21,8	18,8	2,3
8	12,9	15,0	19,6	17,9
9	13,5	22,1		

Tal como referido o carbono total no CDR e Finos, tal qual, nas cinzas e na fracção não biomassa, resultante da aplicação do método da dissolução selectiva foram determinados no Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico. Os valores obtidos constam do Apêndice VI. As Figuras 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24 apresentam os teores em biomassa, como carbono total no CDR e nos Finos.

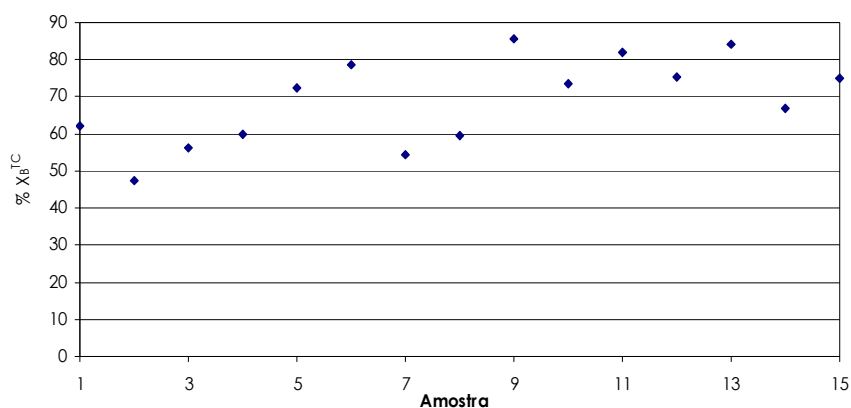


Figura 5.21 Teor em biomassa como carbono total no CDR - 2007

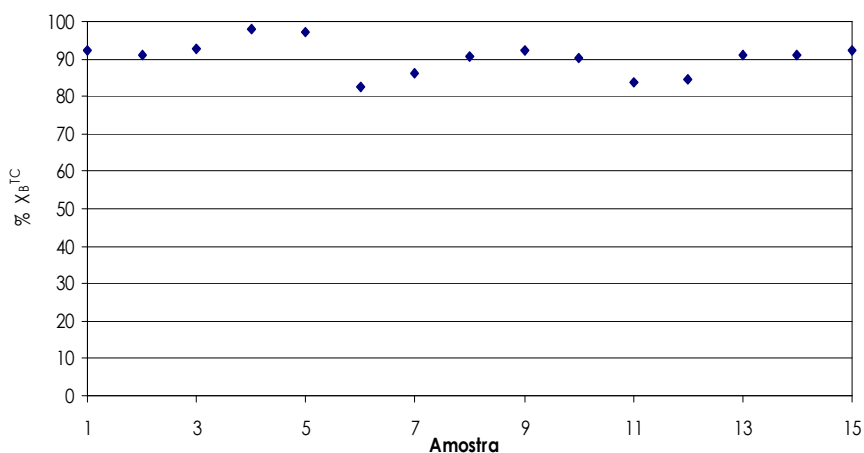


Figura 5.22 Teor em biomassa como carbono total no finos - 2007



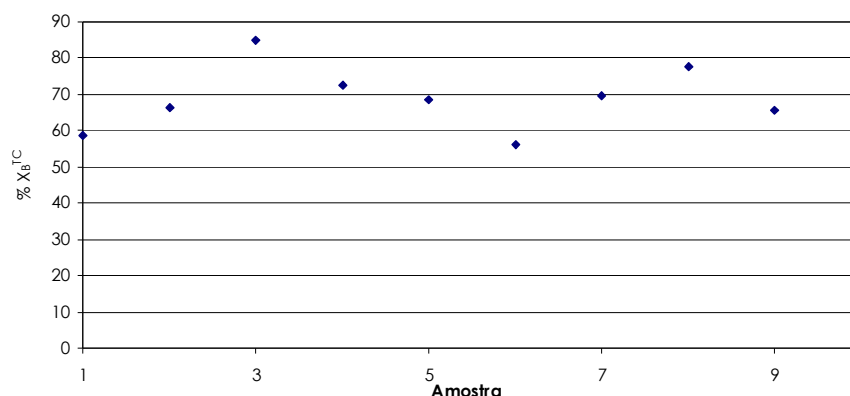


Figura 5.23 Teor em biomassa como carbono total no CDR - 2008

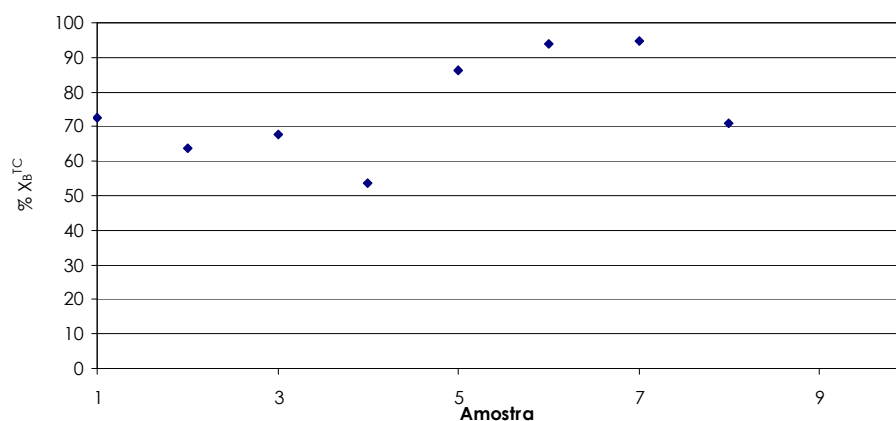


Figura 5.24 Teor em biomassa como carbono total nos finos - 2008

No Quadro 5.7 podem visualizar-se os resultados obtidos na campanha de caracterização da fracção de biomassa, como carbono total, no CDR e nos Finos.

Quadro 5.7 Biomassa pelo método do carbono no CDR e finos

Parâmetro	N	Média (%)	Desvio padrão média (%)	IC da média (95 % de confiança)	Mediana (%)	Desvio padrão amostral (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
% Biomassa (método do CT) - CDR (2007)	15	68,8	3,0	[62,3; 75,4]	72,2	11,8	47,4	85,6
% Biomassa (método do CT) - finos (2007)	16	90,1	1,1	[87,8; 92,5]	90,9	4,4	82,5	98,0
% Biomassa (método do CT) - CDR (2008)	9	68,9	3,0	[62,0; 75,7]	68,6	9,0	56,0	85,1
% Biomassa (método do CT) - finos (2008)	8	75,4	5,2	[63,1; 87,8]	71,7	14,8	53,8	94,7

Muito embora aparentemente possa parecer que os Finos contêm um teor em carbono, de origem biogénica, superior ao do CDR, a verdade é que quando se avalia no conteúdo global verifica-se que tal não acontece uma vez que o teor em carbono total nos Finos é muito inferior ao do CDR. Porém pode concluir-se que o carbono existente nos Finos é

maioritariamente de origem biogénica o que é mais uma vez explicado pelo facto de não se conseguir fraccionar tão eficazmente as fracções não biogénicas (plásticos, borrachas, têxteis).

### 5.3 Determinação do Poder Calorífico

O poder calorífico superior foi determinado, no CDR, segundo a metodologia descrita em 4.2.2 em amostras previamente preparadas de acordo com ponto 4.1.3.3. Os valores obtidos encontram-se no Apêndice VII.

A título ilustrativo determinaram-se os PCS recorrendo às fórmulas de cálculo referidas em 4.2.3, que têm em conta a composição elementar do combustível, e procedeu-se à comparação com o respectivo valor experimental (Figuras 5.25 e 5.26). Os teores em hidrogénio, azoto e enxofre nas amostras foram determinados no Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico e encontram-se no Apêndice VI. O teor em oxigénio foi determinado por diferença:

$$O(\%) = 100 - C(\%) - H(\%) - N(\%) - S(\%) \quad (5.1)$$

Onde C (%), H(%), N(%) e S(%) são os teores percentuais em carbono, hidrogénio, azoto e enxofre respectivamente.

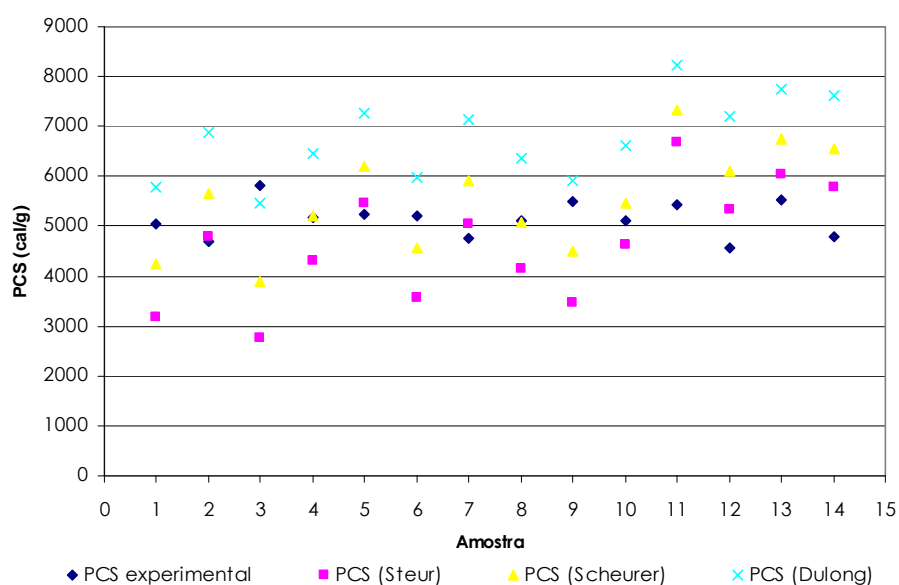


Figura 5.25 Poder calorífico superior no CDR - 2007

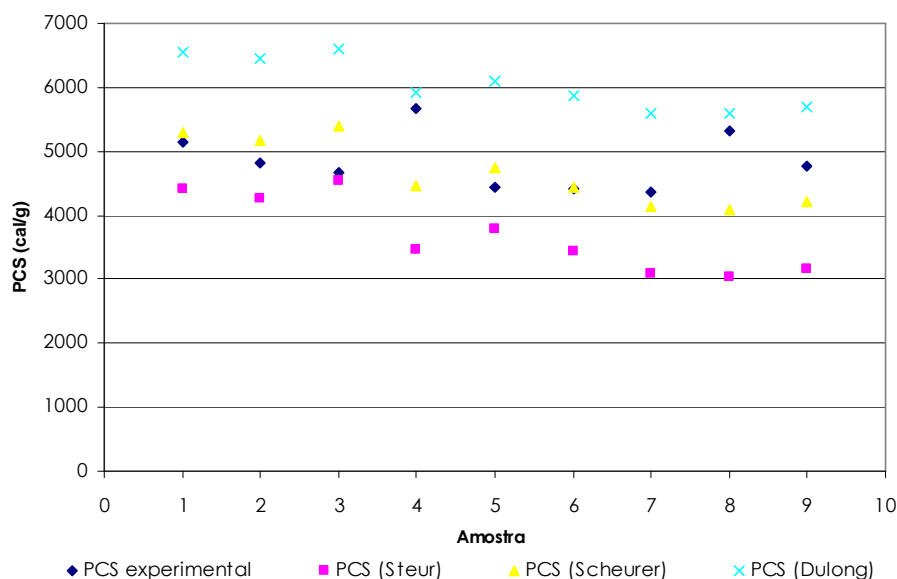


Figura 5.26 Poder calorífico superior no CDR - 2008

Da análise das figuras 5.25 e 5.26 podemos concluir não existirem diferenças significativas entre os resultados obtidos para o PCS nos anos 2007 e 2008 e que as fórmulas empíricas de Steur e Scheurer são as que melhor se ajustam aos resultados experimentais.

Por fim determinaram-se os valores do poder calorífico inferior, a volume constante, que se encontram representados nas Figuras 5.27 e 5.28. A humidade considerada no cálculo foi a da amostra após trituração a 1 mm.

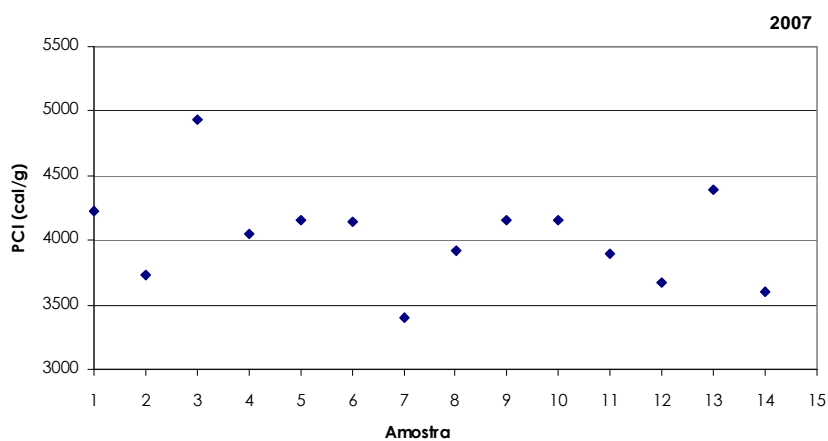


Figura 5.27 Poder calorífico inferior no CDR - 2007

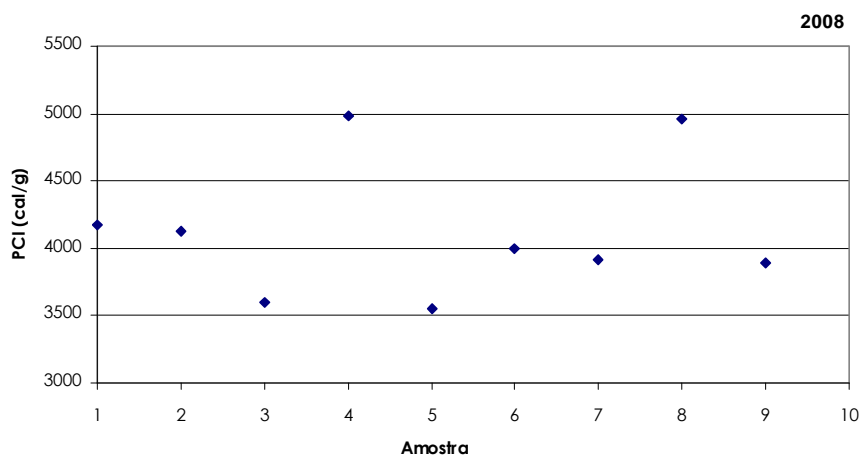


Figura 5.28 Poder calorífico inferior no CDR - 2008

No Quadro 5.8 apresentam-se os resultados referentes às determinações efectuadas para caracterização do PCI no CDR.

Quadro 5.8 PCI do CDR

Parâmetro	N	Média (cal/g)	Desvio padrão média (cal/g)	IC da média (95 % de confiança)	Mediana (cal/g)	Desvio padrão amostral (cal/g)	Mínimo (cal/g)	Máximo (cal/g)
PCI cal/g - CDR (2007)	14	4069	98	[3858; 4281]	4088	366	3518	4863
PCI cal/g - CDR (2008)	9	4149	151	[3800; 4498]	4009	454	3617	4975

Mais uma vez, os resultados obtidos nos dois anos em estudo não revelaram diferenças estaticamente significativas, o que permite concluir que a alteração na linha de produção não teve um impacto significativo nas características do CDR.

## 5.4 Determinação do Teor em Cloro

O cloro foi determinado de acordo com o descrito em 4.2.3 tendo-se obtido os valores representados nas Figuras 5.29 e 5.30.

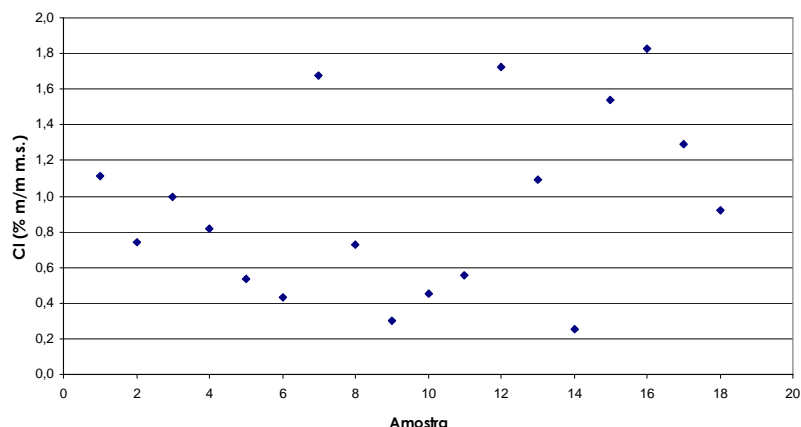


Figura 5.29 Teor em cloro no CDR - 2007

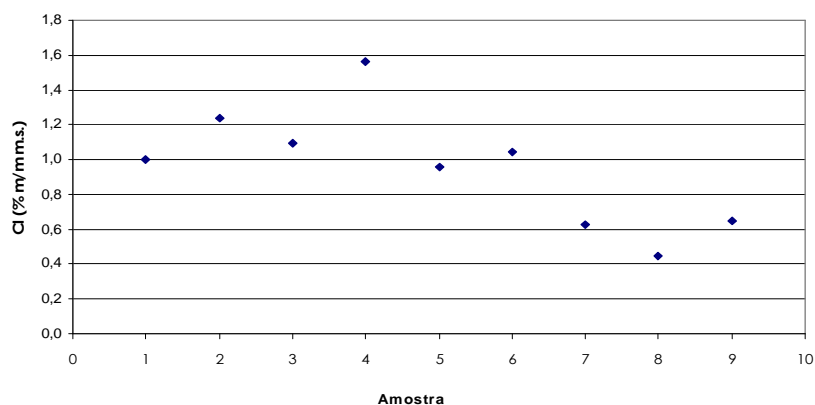


Figura 5.30 Teor em cloro no CDR - 2008

Os valores que permitiram obter a concentração em cloro no CDR constam do Apêndice VIII. No Quadro 5.9 representam-se os valores resultantes das determinações referentes ao teor em cloro no CDR.

Quadro 5.9 Cloro no CDR

Parâmetro	N	Média (%)	Desvio padrão média (%)	IC da média (95 % de confiança)	Mediana (%)	Desvio padrão amostral (%)	CV (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
% Cloro m.s. – CDR(2007)	18	0,95	0,12	[0,70; 1,19]	0,87	0,50	53	0,25	1,83
% Cloro m.s. – CDR(2008)	9	0,96	0,11	[0,70; 1,22]	1,0	0,34	36	0,45	1,56

m.s. – matéria seca

A concentração em cloro no CDR não é excepção às restantes características já apresentadas, tendo-se obtido valores médios semelhantes. Embora o número de amostras seja inferior em 2008, denota-se contudo uma diminuição do desvio padrão associado aos resultados. Esta variação é explicada pelo facto de, em 2008, a quantidade de resíduos processados ser muito superior o que permite atenuar possíveis impactos negativos de

alguns contaminantes presentes nos materiais que constituem a mistura. A grande variabilidade de valores neste analito deve-se essencialmente ao facto de pontualmente serem processados resíduos contendo cloro nomeadamente PVC ou materiais plásticos compósitos provenientes da indústria automóvel.

O coeficiente de variação obtido indica-nos que a quantidade de amostras analisadas é insuficiente para se obter uma “boa” precisão. Todavia, prevê-se que à medida que se aumentar a quantidade de resíduos processados a dispersão dos valores em torno da média tenderá a diminuir e consecutivamente o coeficiente de variação será inferior.

## 5.5 Determinação do Teor em Metais Pesados

Apresentam-se nas Figuras 5.31 e 5.32 os teores de humidade que serviram para o cálculo da concentração em metais pesados em base seca.

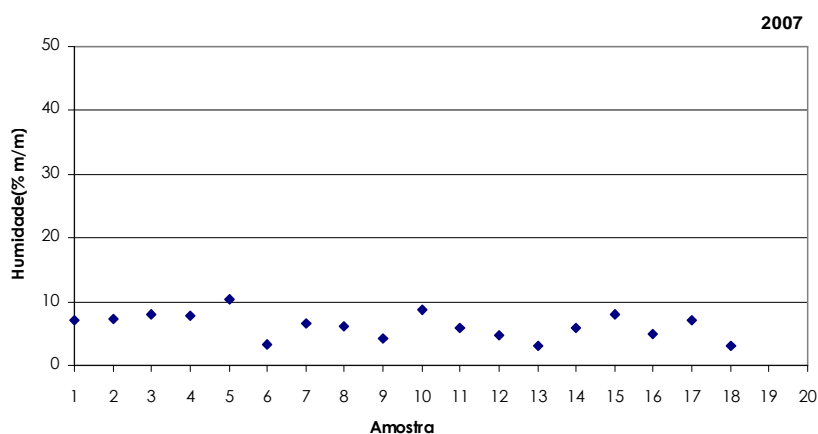


Figura 5.31 Teor em humidade no CDR - 2007

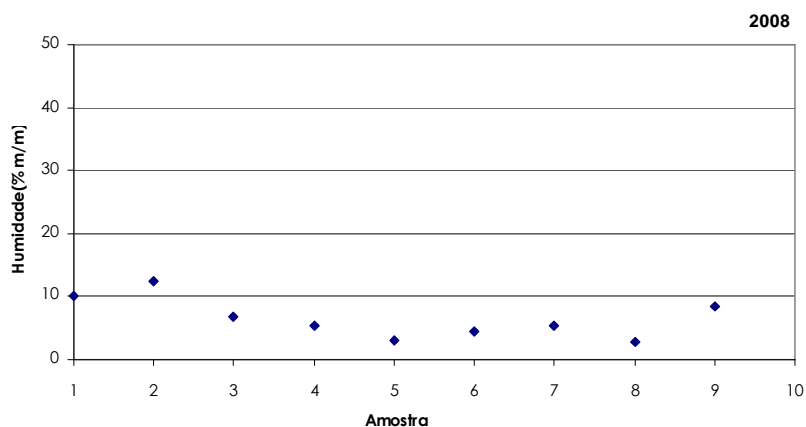


Figura 5.32 Teor em humidade no CDR - 2008

No Quadro 5.10 são apresentados os resultados obtidos na caracterização do teor em humidade do CDR.

Quadro 5.10 Humidade no CDR

Parâmetro	N	Média (%)	Desvio padrão média (%)	IC da média (95 % de confiança)	Mediana (%)	Desvio padrão amostral (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
% Humidade - CDR (2007)	18	6,2	0,5	[5,2; 7,3]	6,4	2,1	3,0	10,4
% Humidade - CDR (2008)	9	6,6	1,1	[4,0; 9,1]	5,5	3,3	2,8	12,6

Após a preparação referida em 4.2.4 os metais, à excepção do mercúrio, foram analisados por espectrometria de emissão por plasma. A determinação do mercúrio seguiu a metodologia descrita em 4.2.5. Os valores médios dos duplicados encontram-se nos Quadros 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16. Os valores afectos do sinal menor representam o limite de quantificação do método. Os resultados brutos dos duplicados, bem como a diferença entre os duplicados, encontram-se no Apêndice IX.

Quadro 5.11 Teor em metais no CDR (2007)

Amostra	Vanádio (mg/kg m.s.)	Crómio (mg/kg m.s.)	Cobalto (mg/kg m.s.)	Níquel (mg/kg m.s.)	Cobre (mg/kg m.s.)	Zinco (mg/kg m.s.)
1	<16	41	<14	<20	30	177
2	<16	44	<13	<19	34	68
3	<13	96	<11	21	49	128
4	<15	76	<13	30	18	96
5	<15	91	<13	29	17	65
6	<19	30	<17	<23	52	111
7	<18	25	<15	<21	22	64
8	<15	22	<13	<18	20	494
9	<12	19	<11	<15	6	17
10	<13	47	<11	<15	82	20
11	<16	21	<14	20	35	52
12	<15	<13	<13	26	42	106
13	<16	329	<14	20	32	230
14	<15	395	<13	<18	15	64
15	<14	<12	<12	<17	13	781
16	<15	20	<13	<18	635	107
17	<15	<13	<13	<18	30	98
18	<13	<11	<11	<16	38	236

m.s. – matéria seca

Nota : O sinal < corresponde ao limite de quantificação do método.

Quadro 5.11 Teor em metais no CDR (2007) (continuação)

Amostra	Arsénio (mg/kg m.s.)	Selénio (mg/kg m.s.)	Cádmio (mg/kg m.s.)	Estanho (mg/kg m.s.)	Antimónio (mg/kg m.s.)	Bário (mg/kg m.s.)
1	<3	3	<2	<11	64	39
2	<3	<2	<2	<10	<31	38
3	<3	<2	3	15	26	55
4	<3	<2	2	<10	<29	34
5	<3	<2	<2	<10	51	49
6	<4	<3	<3	<13	66	58
7	<3	<2	3	19	<35	23
8	<3	<2	4	<10	<30	19
9	<2	<2	2	10	27	25
10	<2	<2	<2	<8	<25	43
11	3	3	5	<11	<33	46
12	3	2	2	17	104	43
13	<3	9	2	12	57	20
14	<3	<2	12	27	<29	58
15	<3	<2	<2	<9	<28	63
16	<3	<2	<2	275	<30	29
17	<3	<2	<2	13	56	56
18	<3	<2	3	48	27	23

m.s. – matéria seca

Nota : O sinal < corresponde ao limite de quantificação do método.

Quadro 5.11 Teor em metais no CDR (2007) (continuação)

Amostra	Tálio (mg/kg m.s.)	Chumbo (mg/kg m.s.)	Alcalis (mg/kg m.s.)	Alumínio (mg/kg m.s.)	Mercurio (mg/kg m.s.)
1	<2	18	1716	3910	0,03
2	<2	<16	1892	4535	0,03
3	<2	21	1639	3868	0,05
4	<2	18	5569	1507	0,04
5	2	15	7167	1005	0,03
6	<3	<19	5769	3472	0,07
7	<2	24	953	2035	<0,02
8	<2	18	1188	1220	<0,02
9	2	17	3740	2261	0,03
10	<2	<13	1861	4177	0,05
11	19	16	1607	1855	0,10
12	18	24	1473	4297	0,02
13	57	20	1844	5442	0,02
14	<2	49	2968	8379	0,05
15	<2	<14	1341	9127	0,10
16	<2	106	937	4958	<0,02
17	<2	<15	1615	1811	<0,02
18	<2	17	1065	4977	0,03

m.s. – matéria seca

Nota : O sinal < corresponde ao limite de quantificação do método.



Quadro 5.12 Teor em metais no CDR (2008)

Amostra	Vanádio (mg/kg m.s.)	Crómio (mg/kg m.s.)	Cobalto (mg/kg m.s.)	Níquel (mg/kg m.s.)	Cobre (mg/kg m.s.)	Zinco (mg/kg m.s.)
1	<6	10	315	<13	24	604
2	<5	<9	4	<13	24	256
3	<8	<11	<4	<16	45	332
4	<5	<9	<3	<13	266	124
5	<6	<11	<4	<16	18	96
6	<6	48	<3	<11	31	142
7	<7	10	<3	<12	26	175
8	<5	<8	<3	<10	23	84
9	<5	19	<3	<12	3318	605

m.s. – matéria seca

Nota : O sinal < corresponde ao limite de quantificação do método.

Quadro 5.12 Teor em metais no CDR (2008) (continuação)

Amostra	Arsénio (mg/kg m.s.)	Selénio (mg/kg m.s.)	Cádmio (mg/kg m.s.)	Estanho (mg/kg m.s.)	Antimónio (mg/kg m.s.)	Bário (mg/kg m.s.)
1	2	2	<1	12	12	1272
2	2	2	2	24	17	578
3	2	2	7	32	18	802
4	2	<1	2	11	12	856
5	2	<2	<2	30	15	485
6	<3	<1	1	8	14	1589
7	<3	<1	2	7	<10	1287
8	1	<1	2	10	18	301
9	2	<1	<1	10	40	300

m.s. – matéria seca

Nota : O sinal < corresponde ao limite de quantificação do método.

Quadro 5.12 Teor em metais no CDR (2008) (continuação)

Amostra	Tálio (mg/kg m.s.)	Chumbo (mg/kg m.s.)	Alcalis (mg/kg m.s.)	Alumínio (mg/kg m.s.)	Mercúrio (mg/kg m.s.)
1	2	18	3160	4657	0,25
2	<1	27	5591	1610	0,14
3	2	82	5242	4702	0,13
4	2	34	1773	2936	0,04
5	2	17	2263	1159	<0,02
6	2	20	4075	2718	0,04
7	1	22	3860	2207	0,03
8	2	18	2391	1189	0,06
9	<1	28	885	864	0,04

m.s. – matéria seca

Nota : O sinal < corresponde ao limite de quantificação do método.

No Quadro 5.17 visualiza-se um resumo dos valores médios obtidos e respectivos intervalos de confiança para os metais analisados neste estudo de caracterização de CDR.

Quadro 5.13 Metais no CDR

Parâmetro	N	Média (mg/kg m.s)	Desvio padrão média (mg/kg m.s)	IC da média (95 % de confiança)	Mediana (mg/kg m.s)	Desvio padrão amostral (mg/kg m.s)	CV (%)
Cr mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	69,8	26,1	[14,6; 124,9]	27,5	110,9	159
Cr mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	9,7	5,3	[-2,6; 21,9]	0,0	15,9	164
Cu mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	65,0	33,8	[-6,3; 136,3]	31,0	143,4	221
Cu mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	419,4	363,3	[-418,3; 1257,2]	26,0	1089,8	260
Zn mg/kg m.s - CDR (2007)	18	161,9	44,8	[67,5; 256,3]	102,0	189,9	117
Zn mg/kg m.s - CDR (2008)	9	268,7	68,7	[110,3; 427,0]	175,0	206,0	77
Cd mg/kg m.s. - CDR 2007)	18	2,1	0,7	[0,6; 3,6]	2,0	2,9	137
Cd mg/kg m.s. - CDR 2008)	9	1,8	0,7	[0,1; 3,4]	2,0	2,2	126
Sn mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	24,2	15,1	[-7,5; 56,0]	5,0	63,9	264
Sn mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	16,0	3,3	[8,4; 23,6]	11,0	9,8	61
Sb mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	26,6	7,6	[10,5; 42,6]	13,0	32,3	122
Sb mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	16,2	3,5	[8,2; 24,3]	15,0	10,5	66
Ba mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	40,1	3,4	[32,8; 47,3]	41,0	14,6	36
Ba mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	830,0	154,8	[473,1; 1186,9]	802,0	464,4	56
Pb mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	20,2	5,8	[7,9; 32,4]	17,5	24,7	122
Pb mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	29,6	6,8	[13,8; 45,3]	22,0	20,5	69
Al mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	3824,2	538,6	[2687,9; 4960,5]	3889,0	2285,0	60
Al mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	2449,1	482,9	[1335,6; 3562,6]	2207,0	1448,6	59
Alcalis mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	2463,6	438,3	[1538,9; 3388,2]	1677,5	1859,5	76
Alcalis mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	3248,9	527,0	[2033,6; 4464,1]	3160,0	1581,0	49
Hg mg/kg m.s. - CDR (2007)	18	0,04	0,007	[0,02; 0,05]	0,03	0,03	85
Hg mg/kg m.s. - CDR (2008)	9	0,08	0,03	[0,02; 0,14]	0,04	0,08	98

m.s. – matéria seca

IC – Intervalo de Confiança

CV – Coeficiente de Variação

A caracterização dos metais revelou-se a mais complexa devido essencialmente à heterogeneidade das amostras. Na realidade, muito embora tal também seja verdade para os restantes parâmetros, nos metais é onde os erros de amostragem definidos em 4.1.1 adquirem maior importância. A adicionar, tratando-se da caracterização de resíduos

industriais, existem fluxos provenientes de algumas origens que contêm elevados teores em metais. O tratamento dado a alguns materiais com complexos metálicos tem por objectivo conferir determinadas propriedades como o aumento da resistência mecânica, a protecção contra as radiações UV, o retardar da acção do fogo, entre outras.

Em resultado da caracterização prévia, referenciada em 3.1, dos diferentes fluxos utilizados na produção, refira-se, a título de exemplo, a variabilidade no teor em cobre, reflexo da introdução de fragmentos de placas de circuitos impressos, detectados em várias cargas no decorrer do estudo e alguns pequenos fios provenientes de obras de construção e manutenção. O acréscimo do teor em bário em 2008 deve-se à introdução de um fluxo de material têxtil proveniente da indústria automóvel. A elevada dispersão do crómio, em 2007, prende-se com a presença de alguns resíduos de calçado, nomeadamente as solas de borracha, e peles.

Como consequência do acima exposto obteve-se na generalidade para os metais, um coeficiente de variação elevado, o que se traduz na necessidade de aumentar drasticamente a dimensão da amostra para se obterem resultados reprodutíveis. À semelhança do comportamento do parâmetro cloro, e embora o número de amostras em 2008 seja inferior, nos metais verifica-se igualmente um decréscimo no coeficiente de variação, explicado pelo já referido factor de escala.

De acrescentar porém que a dimensão da amostra requerida não é compatível com os recursos geralmente disponíveis nas organizações pelo que o importante é analisar se os teores obtidos respeitam, de modo mais ou menos confortável, os limites estabelecidos na especificação da unidade de valorização.

Rotter *et al.* (2004) efectuaram uma pesquisa sobre normas de qualidade aplicadas a CDR na União Europeia verificando-se algumas diferenças como resultado do envolvimento de produtores de CDR, de potenciais consumidores ou das entidades legais (Quadro 5.18).

Quadro 5.14 Normas de qualidade de CDR na União Europeia (adaptado de Rotter *et al.*, 2004)

Parâmetro	País			
	Suíça (Buwal, 1999) mg/MJ	Finlândia (SFS, 2000) mg/MJ	Itália (Ministério do Ambiente, 1998) mg/MJ	Alemanha (RAL, 2001) mg/MJ
As	0.6	n.a.	0.5	0.7
Be	0.2	n.a.	n.a.	0.1
Cd	0.1	0.3	0.4	0.5
Co	0.8	n.a.	n.a.	0.7
Cr	4.0	n.a.	6	14
Cu	4	n.a.	17	56
Hg	0.02	0.03	n.a.	0.07
Ni	4		2	8.9
Pb	8		11	n.a.
Sb	0.2		n.a.	3.3
Se	0.2		n.a.	0.3
Sn	0.4		n.a.	3.9
Te	n.a.		n.a.	0.3
Tl	0.12		n.a.	0.11
V	4			1.4
Zn	16		28	n.a.
Cloro	n.a.	1.5 % em peso	0.9 % em peso	

Observando as características constantes no quadro anterior, e considerando que o CDR em estudo apresenta um poder calorífico mínimo de 15 MJ/kg, verifica-se que na generalidade se obtiveram valores inferiores, o que permite concluir que o CDR produzido apresenta características compatíveis com as actuais utilizações na Europa.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1 Síntese Conclusiva

O principal objectivo deste estudo é a caracterização do CDR, produzido a partir de resíduos industriais não perigosos e o seu respectivo enquadramento normativo. Pretende-se também, na sequência da dessa mesma caracterização, comparar duas linhas de produção e analisar o impacto da alteração do processo produtivo na qualidade do produto. Para alcançar estes objectivos o trabalho experimental foi realizado em dois períodos de amostragem separados temporalmente por um ano em que coincidiu com a alteração, com vista à optimização, da linha de produção. Procedeu-se à caracterização de vários lotes produzidos em parâmetros físico-químicos, de acordo com a especificação exigida pela unidade de valorização energética, e a fracção do combustível de origem biogénica. Por fim efectuou-se o tratamento estatístico dos resultados obtidos e procedeu-se às respectivas conclusões.

Apresenta-se de seguida uma síntese dos principais resultados e conclusões alcançadas face aos objectivos propostos para este estudo.

#### 1. Caracterização física e química do CDR e dos Finos

A caracterização física e química do CDR produzido é o tema central deste estudo. Na realidade um combustível apenas pode ser considerado como tal se a caracterização física e química assim o evidenciar. Para dar resposta a este desafio caracterizaram-se os componentes mais relevantes num combustível, o poder calorífico, a humidade, o teor em cloro e a concentração em metais, que possam conduzir a emissões poluentes ou problemas técnicos no decorrer do processo de combustão. Os resultados obtidos revelaram-se concordantes e até em certa medida semelhantes aos constantes na bibliografia consultada (Quadros 1.3, 6.1 e 6.2), o que permite concluir que o produto produzido apresenta uma composição aproximada ao que já se efectua em outros países.

Quadro 6.1 Caracterização de CDR utilizado em leito fluidizado (adaptado de Piao *et al.*, 1998)

Parâmetro	Valor da bibliografia	Valor médio 2007	Valor médio 2008
Humidade (% m/m)	11.1	6.2	6.6
Matéria Volátil (% m/m)	72.5	-	-
Carbono Fixo (% m/m)	3.9	-	-
Cinzas (% m/m)	12.5	10.5	12.5
Carbono (% m/m)	41.7	50	47.4
Hidrogénio (% m/m)	6.0	7.8	6.4
Azoto (% m/m)	0.75	0.83	0.69
Oxigénio (% m/m)	36.3	40.7	45.5
Enxofre (% m/m)	0.17	<0.3	<2.0
Cloro (% m/m)	1.0	0.95	0.96
Poder calorífico (MJ/kg)	18 392	17 009	17 344

Quadro 6.2 Caracterização de CDR, na Europa, produzido a partir de fracções monomaterial de resíduos industriais e do comércio (adaptado de. European Commission – Directorate General Environment, 2003)

Parâmetro	Valor da bibliografia (mediana)	Mediana 2007	Mediana 2008
Poder calorífico (MJ/kg)	22,9	17,1	16,8
Humidade (% m/m)	11,5	6,4	5,5
Cloro (% m/m)	0,4	0,9	1,0
Enxofre (% m/m)	0,1	<0,3	<0,3
Cádmio (mg/kg m.s)	0,8	2	2
Mercurio (mg/kg m.s)	0,2	0,03	0,04
Antimónio (mg/kg m.s)	9,4	13	15
Chumbo (mg/kg m.s)	25,0	18	22
Crómio (mg/kg m.s)	20,0	28	0
Cobre (mg/kg m.s)	48,0	31	26
Estanho (mg/kg m.s)	7,0	5	11

m.s. matéria seca

Contudo reforça-se que a caracterização dos metais apresenta intervalos de confiança muito alargados decorrente da grande variabilidade presente nos resíduos em geral e nos industriais em particular. Para o produtor de CDR e para o cliente a questão de maior importância é saber se o combustível contém metais numa concentração tal que coloque em causa os critérios de qualidade exigidos contratualmente. Como nota adicional refira-se que a dimensão do lote é relativamente pequena, quando comparável com o estabelecido pela norma nacional, o que implica que quaisquer variações na composição

da matéria-prima terão um impacto muito significativo na qualidade do combustível produzido.

Relativamente à determinação do teor em biomassa no CDR importa salientar que neste caso a variabilidade da matéria-prima tem pouco impacto no resultado tendo-se verificado valores de dispersão muito inferiores aos observados com os restantes parâmetros. No que se refere aos Finos denotou-se uma variação justificada pelo facto da composição variar em função da granulometria ser diferente nas duas linhas em estudo.

Por último, convém referir que este ensaio de caracterização se baseou na especificação de uma cimenteira, que utiliza o CDR num forno rotativo. Pode não ser aplicável e adequada a instalações de combustão que utilizem outro tipo de processos de combustão como fornos de leito fluidizado, caldeiras ou grelhas. Efectivamente a experiência diz-nos que as características físicas do combustível produzido nomeadamente a densidade e a granulometria não são compatíveis com os sistemas de combustão utilizadas em algumas indústrias como a cerâmica e a de pasta e papel.

## 2. Enquadramento normativo

Comparando os resultados obtidos neste estudo com a classificação estabelecida na norma nacional conclui-se que o CDR produzido se enquadra genericamente na classe 3 para os parâmetros poder calorífico e cloro e na classe 1 para o mercúrio. Uma boa selecção das matérias-primas permite melhorar a qualidade do CDR produzido e desta forma obter-se um combustível de classe 1. Contudo incrementar a triagem dos materiais menos nobres implica avultados investimentos em equipamento, que comprometem a viabilidade do projecto e simultaneamente a redução da eficiência em massa do processo. Por outro lado, com o mercado dos CDR numa fase primária de desenvolvimento, apostar em melhorar a qualidade do produto pode não ser compensatório.

## 3. Impacto da alteração da linha de produção na qualidade do CDR e dos Finos

Verifica-se que as diferenças observadas nas características do CDR nos dois anos em estudo devem-se à variação da composição da matéria-prima e não à alteração das operações unitárias de tratamento. Não ficou efectivamente demonstrado que uma alteração na disposição ou tipologia dos equipamentos implicasse uma variação nas características do produto. Exemplo do referido é o poder calorífico, o teor em cloro ou a fracção de biomassa que se mantiveram aproximadamente constantes. Diga-se no entanto que pelo facto do processo não possuir muitos pontos de separação, logo a quantidade de

refugo ser mínima, não seria expectável ocorrerem variações significativas na composição do produto, decorrente da alteração das operações unitárias. A introdução da separação balística em 2008, embora implique uma maior taxa de refugo, pela tipologia de materiais segregados (fracções de papel, cartão e plástico de forma arredondada), não implicou uma alteração relevante na composição do produto final.

No que respeita aos Finos verifica-se efectivamente um acréscimo no teor em biomassa com o aumento do diâmetro do crivo pelas razões já apresentadas no capítulo anterior.

#### 4. Viabilidade técnica da valorização energética

A análise da composição do CDR obtido, e por comparação com a bibliografia consultada, permite-nos concluir que a valorização energética em cimenteiras é perfeitamente viável. Recordando ainda o Quadro 1.3 verifica-se que, face à informação disponível a substituição de CDR por carvão, em centrais termoeléctricas, é possível, é uma realidade na Europa e que o CDR em estudo apresenta características químicas compatíveis. Não foram contudo analisadas as características físicas do CDR que, tal como já referido, podem inviabilizar tecnicamente a valorização energética. Evidentemente que a viabilidade técnica, quando se aborda o tema dos resíduos, não vem dissociada da análise económica.

#### 5. Mais valia enquanto combustível “verde”

Da caracterização da fracção de biomassa no CDR e nos Finos verifica-se efectivamente uma componente significativa de carbono proveniente de fontes renováveis o que leva a crer a possibilidade de comercialização do CDR enquanto combustível “verde”. Neste estudo não foram contudo efectuados os cálculos que permitem concluir sobre a quantidade, em kg CO<sub>2</sub>/tonelada de combustível, que os consumidores, deste produto, evitam libertar para a atmosfera, pelo facto de substituírem parte ou a totalidade dos combustíveis tradicionais.

## 6.2 Limitações do Estudo

A caracterização de resíduos sólidos é por norma um processo complicado do ponto de vista de amostragem e análise física e química. Este estudo não foi excepção e efectivamente verificaram-se algumas limitações, designadamente:

1. **Diferentes matérias-primas.** Não foram utilizados, na produção de CDR, exactamente o mesmo tipo de resíduos em 2007 e 2008. Na verdade em 2008 processaram-se mais



resíduos e diferentes tipologias. Todavia, observa-se que esta variação é atenuada à medida que se aumenta a quantidade de resíduos processadas pois verifica-se um efeito de diluição com a compensação das características que apresentam maior desvio relativamente à média.

2. **Número de amostras recolhidas.** Face à heterogeneidade dos materiais o número de amostras recolhidas revelou-se insuficiente nomeadamente na análise de metais, para garantir uma precisão considerada como aceitável neste domínio. Contudo a locação de recursos para tornar o estudo tecnicamente conforme seria incompatível com o tempo e os recursos humanos disponíveis para a realização do trabalho.
3. **Erros de amostragem.** Muito embora seja uma realidade sempre que se aborda o tema da amostragem é um facto que neste tipo de materiais estes erros podem tomar uma proporção considerável, em todas as etapas, o que conduz a valores com elevado dispersão. A adicionar a este facto convém ainda referir que a amostragem do lote não foi realizada pela mesma pessoa nos dois anos em estudo.

### 6.3 Linhas Futuras de Pesquisa

É inegável que o tema dos CDR se encontra actualmente em franca expansão. A publicação recente da Estratégia para os Combustíveis Derivados de Resíduos irá certamente impulsionar o mercado, os operadores de gestão de resíduos e a administração central a encararem o CDR enquanto alternativa viável para a gestão integrada de resíduos. Efectivamente no domínio da gestão de RSU ou de resíduos industriais, o CDR poderá surgir como um complemento a tratamentos mecânicos e biológicos de RSU, como opção de tratamento para o refugo de unidades de triagem de recuperação de resíduos (urbanos ou industriais) para valorização material, para as fracções de resíduos industriais cuja valorização material é inviável ou mesmo como alternativa, em caso de produção excedente, do composto. Para as actividades industriais que envolvem processos de combustão, abrangidos pelo mercado do carbono, o CDR surge como um combustível alternativo e como fonte de energia renovável, o que permitirá a poupança, para os respectivos operadores, de alguns créditos de carbono.

Face ao descrito sugerem-se assim algumas matérias que poderão ser abordados em trabalhos futuros:

1. Estudo de viabilidade económica de instalações de produção de CDR, visto esta questão ser de extrema importância e não ter sido alvo de análise neste estudo. Tendo em conta o avultado investimento em equipamento necessário à criação destas unidades e o custo inerente à operacionalidade e manutenção, decorrente do facto de se tratar de matérias-primas muito heterogéneas, terá certamente interesse avaliar-se qual a taxa a imputar ao produtor, para a recepção do resíduo, de modo a tornar estas instalações interessantes do ponto de vista económico;
2. Estudo de viabilidade económica das unidades de produção de CDR, na sequência da introdução de equipamentos de elevado custo e tecnicamente complexos nomeadamente os separadores automáticos ou por infra-vermelhos, para redução da concentração em contaminantes, com o objectivo de afinação da qualidade do produto final;
3. Análise da viabilidade económica da transformação do CDR tipo *fluff* em CDR *peletizado*, com a identificação do *breaking point* do projecto realçando o binómio custo associado ao transporte com o valor acrescentado que possa advir, na sequência de novas oportunidades de negócio ou novos mercados;
4. Estudo e avaliação das características dos CDR potencialmente requeridas pela indústria nacional com instalações de combustão (energética, vidreira, cerâmica e pasta e papel) em termos de granulometria, densidade, poder calorífico, cloro e outros;
5. Avaliação do potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, a nível nacional, pela introdução de CDR como combustível alternativo, nos diversos processos de combustão, e pelo desvio dos resíduos do aterro;
6. Caracterização física e química de refugos de unidades de tratamento mecânico e biológico de RSU incluindo a análise do potencial de produção e o estudo de viabilidade técnico-económica da produção e encaminhamento para valorização energética;
7. Optimização das características físicas e químicas de CDR produzidos a partir de unidades de processamento de RSU indiferenciados através da adição de fluxos de resíduos industriais, que permitam, por exemplo, reduzir o teor em humidade ou aumentar o poder calorífico;
8. Desenvolvimento de CDR produzido a partir de misturas de resíduos de diferentes origens, numa instalação de tratamento de RSU, nomeadamente proveniente de unidades de tratamento mecânico e biológico e de triagem de materiais com origem na recolha selectiva de resíduos. Desta forma poderá ser possível minimizar ou compensar algumas lacunas.





## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA (2008). *Relatório do Estado do Ambiente*. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, Outubro 2008
- APHA (2005a). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 4500-Cl<sup>-</sup> B. Argentometric Method*. APHA.AWWA.WEF, 21<sup>st</sup> Edition
- APHA (2005b). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 3120 B. – Inductively Coupled Plasma (ICP) Method*. APHA.AWWA.WEF, 21<sup>st</sup> Edition
- BOESMANS, B. (1986). Refuse Derived Fuel in the Netherlands. *Conservation & Recycling*, **9**, 23 - 28
- CAPUTO, ANTONIO C.; PELAGAGGE, PACIFICO M. (2002a). RDF Production plants: I Design and costs. *Applied Thermal Engineering*, **22**, 423 - 437
- CASTELLS, E.; CADAVID, X.; POZUELO, C. C.; RIPOLL, E. F.; MARTINEZ, X. G.; JORDI (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Díaz de Santos, 1228 pp.
- CEN (2006a). *CEN/TS 15359 Solid recovered fuels – Specifications and classes*. CEN, Maio 2006.
- CEN (2006b). *CEN/TS 15442 Solid recovered fuels – Methods for sampling*. CEN, Novembro 2006
- CEN (2006c). *CEN/TS 15443 Solid recovered fuels – Methods for laboratory sample preparation*. CEN, Novembro 2006
- CEN (2006d). *CEN/TS 15440 Solid recovered fuels – Method for the determination of biomass content*. CEN, Novembro 2006
- CEN (2006e). *CEN/TS 15400 Solid recovered fuels – Method for the determination of calorific value*. CEN, Outubro 2006
- CEN (2006g). *CEN/TS 15410 Solid recovered fuels – Method for the determination of the content of major elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si, Ti)*. CEN, Setembro 2006.
- CEN (2006h). *CEN/TS 15411 Solid recovered fuels – Method for the determination of the content of trace elements (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn)*. CEN, Setembro 2006
- CEN (2008). *Catalogue (Published Standards only)*. CEN. Disponível em <http://www.cen.eu> [consultado em 10/12/2008].
- CHANG, N.; CHANG, Y; CHEN, W. C. (1997). Evaluation of heat value and its prediction for refuse-derived fuel. *The Science of the Total Environment*, **197**, 139 - 148
- CHEREMISINOFF, N. P. (2003). *Handbook of solid waste management and waste minimization technologies*. Butterworth-Heinemann, 477 pp.

- COGELME (2009). *Recycling Machines and Separating Systems*. Disponível em <http://www.cogelme.com/eng/> [consultado em 14/08/2008]
- DGEG (2008a). *Política Energética, Energia/Ambiente/Desenvolvimento Sustentável*. Direcção Geral de Energia e Geologia. Disponível em <http://www.dgeg.pt> [consultado em 10/12/2008].
- DGEG (2008b). *Estatísticas e Preços. Indicadores Energéticos*. Direcção Geral de Energia e Geologia. Disponível em <http://www.dgeg.pt> [consultado em 10/12/2008].
- DIAS, S. M.; COSTA M. (2006). *Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental*. IST – CEBQ, Junho 2006
- DIAZ, L. F.; SAVAGE, G. M. (2006). *Production and Quality of Refuse Derived Fuel (RDF)*. CalRecovery, Inc. 2006
- DONG, T.T.T.; LEE, B. (2009). Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea. *Waste Management*, **29**, 1725 – 1731
- DOPPSTADT (2009). *Downloads*. Disponível em [http://www.doppstadt.com/media/dw\\_eng\\_neu.d4e11554.pdf](http://www.doppstadt.com/media/dw_eng_neu.d4e11554.pdf) [consultado em 15/08/2009]
- DRBAL, L.F.; BOSTON, P.G.; WESTRA, K.L. (1996). *Power plant engineering*. Black & Veatch, 723 pp
- ECOMATERIALES (2009). *Ecomateriales*. Disponível em <http://www.ecomateriales.com/page1.htm>. [Consultado em 01/08/2009]
- EPA (2002). *RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance, Planning, Implementation and Assessment*. United States Environmental Protection Agency – Office of Solid Waste, August 2002
- EPA (2007). *EPA 6010C Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry, rev 03*. EPA, Fevereiro 2007
- EUROPEAN COMISSION (2006). *Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries*. European Commission, August 2006.
- EUROPEAN COMISSION – DIRECTORATE GENERAL ENVIRONMENT (2003). *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives*. Final Report, July 2003
- COMISSÃO CIENTÍFICA INDEPENDENTE (2006). *Extracto do Parecer Relativo ao Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos*. Cadeira de Processos Térmicos de Transformação de Resíduos da Pós-Graduação e Mestrado em Gestão Integrada e Valorização de Resíduos, FCT-UNL
- GENON, G.; BRIZIO, E. (2008). Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. *Waste Management*, doi:10.1016/j.wasman.2007.10.022

- GERLACH, R. W.; NOCERINO, J. M. (2003). *Guidance for Obtaining Representative Laboratory Analytical Subsamples from Particulate Laboratory Samples*. Environmental Protection Agency, Novembro 2003
- GIDARAKOS, E.; SIMANTIRAKI, F. (2008). *RDF Evaluation in the Region of Chania, Crete*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza 2008
- GLORIUS, T.; TUBERGEN J. V.; PRETZ, T.; KHOURY, A.; UEPPING, R. (s.d.). *Solid Recovered Fuels – Contribution to BREF “Waste Treatment”*. European Recovered Fuel Organization (ERFO); Institute and Chair of Processing and Recycling of Solid Waste, RWTH Aachen
- GRZYBECK, P. (2007). *Contributions to the Science of Text and Language*. Springer. 352 pp.
- GUIMARÃES, R. C.; CABRAL, J. A. S. (1997). *Estatística*. Edições McGraw-Hill. Lisboa. 621 pp.
- KOMPTECH (2009). *Products*. Disponível em <http://www.komptech.com/en/products/shredding/waste-wood-pre-shredder.htm> [Consultado em 14/08/2009]
- KREITH, F.; TCHOBANOGLOUS, G. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> edition, 950 pp.
- LINDNER (2009). *Machines*. Disponível em <http://www.lindner-resource.com/en/machines/>. [Consultado em 15/08/2009]
- LOUSADA, J. L.; MOREIRA, N.A. (2008). *Oferta e Procura de Resíduos Florestais para Fins Energéticos em Portugal. Valorização de Resíduos. Centro de Valorização de Resíduos*, Novembro 2008
- IPQ (2008). *NP 4486:2008 Combustíveis derivados de resíduos, Enquadramento para a produção, classificação e gestão da qualidade*. Instituto Português da Qualidade. 1<sup>a</sup> Edição, Dezembro 2008
- MANSER, A. G. R.; KEELING, A. A. (1996). *Practical handbook of processing and recycling of municipal waste*. CRC Press, 557 pp.
- MARSH, R.; GRIFFITHS, A. J.; WILLIAMS, K. P.; WILCOX, S. J. (2007). Physical and thermal properties of extruded refuse derived fuel. *Fuel Processing Technology*, **88**, 701 – 706.
- MCDUGALL, F. R.; WHITE, P. R. FRANKE, M. (2001). *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. Wiley-Blackwell, 513 pp.
- MEWA (2009). *Machines*. Disponível em <http://www.mewa-recycling.de/en/machines/hammer-mill-uhm.html> [Consultado em 14/08/2009]
- MROTZEK, A.; MARZI, T.; HIEBEL, M. (2008). *Model-based material flow analysis of RDF – production*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza 2008
- MURTEIRA, B. J. F.; RIBEIRO, C. S.; SILVA, J. A.; PIMENTA, C. (2002). *Introdução à Estatística*. Edições McGraw-Hill, Lisboa, 329 pp.
- MURTEIRA, B. J. F. (1990). *Probabilidades e Estatística, Volume II*. 2<sup>a</sup> Edição Revista. Editora McGraw-Hill, Lisboa, 463 pp.

- OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT, COMITEE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, CONGRESS, UNITED STATES, SENATE, HOUSE (1979). *Materials and energy from municipal waste: resource recovery and recycling from municipal solid waste and beverage container deposit legislation*. DIANE Publishing
- PALAZZOLO, R.; CODA, F.; COGGIOLA, F.; PORTO, G.; GIUDICI, R. (2008). *RDF Ozone Disinfection*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza 2008
- PEREIRA, A. (2002). *SPSS: Guia prático de utilização*. 3ª Edição. Edições Sílabo, Lisboa, 199 pp.
- PESTANA, D. D.; VELOSA, S. F. (2002). *Introdução à Probabilidade e à Estatística, Volume I*. Edição Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1157 pp.
- PIAO, G.; AONO, S.; MORI, S.; DEGUCHI, S.; FUJIMA, Y. KONDOH, M; YAMAGUCHI, M. (1998). Combustion of refuse derived fuel in a fluidized bed. *Waste Management*, **18**, 509 - 512
- PICHTTEL, J. (2005). *Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial*. CRC Press, 659 pp.
- REIS, E.; MELO, P.; ANDRADE, R.; CALAPEZ, T. (1996). *Estatística Aplicada*. Edições Sílabo, Lisboa, 546 pp.
- RIFFENBURGH, R.H (2005). *Statistics in Medicine, Second Edition*. Elsevier Academic Press. 622 pp.
- ROBINSON, W. D. (1986). *The Solid waste handbook: a practical guide*. Wiley-IEEE, 811 pp.
- ROOS, H. J.; PETERS, W. (2007). *Advanced processing of municipal solid waste for the production of high-grade quality fuels*. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. Sardenha 2007
- ROTTER, V. S.; KOST, T.; WINKLER, J.; BILITEWSKI, B. (2004). Material flow analysis of RDF – production processes. *Waste Management*, **24**, 1005 - 1021
- SCHINGNITZ, D.; HOFFMANN, G.; GLEIS, M.; WAGNER, J. (2008). *Emergence and utilizations of RDF in Germany – Current situation prospects*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza 2008
- SPENCER, R.; YASUDA, Y. (2000). *Environmental and Economic Evaluation of Refuse Derived Fuels: With a Special Focus on the Application on Japanese Technology in Canada*, June 2000
- TITECH (2009). *Sorting Equipment*. Disponível em <http://www.titech.com/recycling-equipment/> [Consultado em 14/08/2009]
- VILARINHO, C.; CASTRO, F., SILVA, R.; SILVA, S.; MENDONÇA, B.; COELHO, C. (2008). *Desenvolvimento de Tecnologia de Incorporação de Resíduos Industriais no Fabrico de Agregados Leves de Argila Expandido para a Construção Civil. Valorização de Resíduos*. Centro de Valorização de Resíduos, Novembro 2008.



## 8. BIBLIOGRAFIA

- ALTER, H. (1984). *Materials recovery from municipal waste: unit operations in practice*. CRC Press, 264 pp.
- ADANI, F.; BAIDO, D.; CALCATERRA, E.; GENEVINI, P. (2002). The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Biosource Technology*, **83**, 173 - 179
- BILITEWSKI, B.; HÄRDITLE, G.; MAREK, K.; WEISSBACH, A. (1996). *Waste management*. Springer, 699 pp.
- BOMAN, M.; BRÄNNLUND, R.; KRISTRÖM, B. (1999). *Topics in environment economics*. Springer, 245 pp.
- BROZZI, B.; BURATTO, R.; MALLOGGI, S.; URBANI, M.; DELL'ANDREIA, E.; TEARDO, G.; SALA, M.; (2006). *Co firing of RDF and coal in Fusina power plant, Venice*. Italy Biomass and Waste to Energy Symposium, Venezia 2006
- CAPUTO, ANTONIO C.; PELAGAGGE, PACIFICO M. (2002b). RDF Production plants: II Economics and profitability. *Applied Thermal Engineering*, **22**, 439 - 448
- CEN (2006f). *CEN/TS 15408 Solid recovered fuels – Method for the determination of sulphur (S), chlorine (Cl), fluorine (F) and bromine content*. CEN, Setembro 2006.
- CHEE, T. M.; HASSAN, M. N.; SHITAN, M. (2005). *Multiple regression models to estimate the calorific value of RDF produced from Malaysian wastes*. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardenha 2005
- CONSONNI, S.; GIUGLIANO, M.; GROSSO, M. (2005a). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste Part A: Mass and energy balances. *Waste Management*, **25**, 123 - 135
- CONSONNI, S.; GIUGLIANO, M.; GROSSO, M. (2005b). Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste Part B: Emission and cost estimates. *Waste Management*, **25**, 137 - 148
- EPA (1994). *Method 5050 Bomb preparation method for solid waste rev 00*. EPA, Setembro 1994
- GENDEBIEN, A.; LEAVENS, A.; BLACKMORE, K.; GODLEY, A.; LEWIN, K.; WHITING, K. J.; DAVIS, R.; GIEGRICH, J.; FEHRENBACH, H.; GROMKE, U. (2003). *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3) Final Report*. European Commission – Directorate General Environment, July 2003
- GIUGLIANO, M.; GROSSO, M.; RIGAMONTI, L. (2008). Energy recovery from municipal waste: A case study for a middle-sized Italian district. *Waste Management*, **28**, 39 - 50
- HAKER, K.; KUCHTA, K. (2008). *Modeling, Simulations and Evaluation of Energy and Material Flows of the Shredder Process Considering Ecological and Economical Effects Such as*

*Energy Consumption and the Recovery of Shredder Residues as a Potential Fuel.*  
Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza 2008

- HERNANDEZ-ATONAL, F. D.; RYU, CHANGKOOK; SHARIFI, V. N.; SWITHENBANK, J. (2007). Combustion of refuse-derived fuel in a fluidized bed. *Chemical Engineering Science*, **62**, 627 - 635
- HILBER, TH; THORWARTH, H.; STACK-LARA, V.; SCHNEIDER, M.; MAIER, J.; SCHEFFKNECHT, G. (2007). Fate of mercury and chlorine during SRF co-combustion. *Fuel*, doi: 10.1016/j.fuel.2006.12.014
- ISHII, Y.; ISHII, N.; IIDA, Y. (1987). A system for preparation and production of RDF (refuse derived fuel) from a source-separated fraction of MSW (municipal solid waste) in Narashino. *Conservation & Recycling*, **10**, 229 - 236
- JUNG, C. H.; MATSUTO, T.; TANAKA, N. (2006). Flow analysis of metals in a municipal solid waste management systems. *Waste Management*, **26**, 1337 - 1348
- LIU, D.; LIPTÁK, B. G.; BOUIS, P. A. (1997). *Environmental engineers' handbook*. CRC Press, 1431 pp.
- KAPETANIOS, E.; KONTOMINAS, I.; MALAMIS, D. (2008). *Design of a pyrolysis system for electricity generation by employing either heat from exhaust gasses or heat from steam condensation for RDF drying*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza 2008
- KIKUCHI, R.; KUKACKA, J.; RASCHMAN, R. (2007). Grouping of mixed plastics according to chlorine content. *Separation and Purification Technology*, **61**, 75 - 81
- KIRKLIN, D. R.; DECKER, P. H.; DOMALSKI, E. S. (1985). Characterization of refuse-derived fuel at various stages of processing. *Resources and Conservation*, **11**, 255 - 261
- MANNINEN, H.; PERKIÖ, A.; PALONEN, J.; PELTOLA, K.; RUUSKANEN, J. (1996). Trace metal emissions from co-combustion of refuse derived and packaging derived fuels in a circulating fluidized bed boiler. *Chemosphere*, **12**, 2457 - 2469
- NIESSEN, W.R. (2002). *Combustion and incineration process*. 3ª Edição. Dekker Media, 715 pp.
- OHLSSON, O. O.; WALTER, D. K.; GOODMAN, B. J. (1991). *An Overview of RDF Processing Systems: Current Status, Design Features, and Future Trends*. International Joint Power Generation Conference. San Diego, October 1991
- OLLILA, H. J.; MOILANEN, A.; TIAINEN, M. S.; LAITINEN, R. S. (2006). SEM-EDS characterization of inorganic material in refuse-derived fuels. *Fuel*, **85**, 2586 - 2592
- PAOLI, P.; TEARDO, G.; CASARIN, F. (2006). *RDF Production Plant in Fusina - Venice: First Experience of RDF co-combustion in Industrial Power Plant*. Biomass and Waste to Energy Symposium. Veneza 2006
- RADA, E.C.; RAGAZZI, M.; PANAITESCU, V.; APOSTOL, T. (2005). *An example of collaboration for a technology transfer: municipal solid waste bio-drying*. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardenha 2005
- RAVELLI, S.; PERDIZICHIZZI, A. (2006). *Energy from RDF by means of fluidized bed combustion*. Biomass and Waste to Energy Symposium, Veneza 2006

- SAMI, M.; ANNAMALAI, K; WOOLDRIDGE, M. (2001). Co-firing of coal and biomass fuel blends. *Progress in Energy and Combustion Science*, **27**, 171 - 214
- SCHIRMER, M.; ECKARDT, S.; BILITEWSKI, B. (2003). *Economic advantages of the energetic recovery of refuse derived fuels from domestic waste by the implementation of emission trade*. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardenha 2003
- SILVA, R.; BARREIRO, F.; NOVAIS, J. M.; COSTA, M.; MARTINS-DIAS, S. (2007) *Refuse derived fuel and use in Portugal*. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Sardenha 2007
- SOYEZ, K.; PLICKERT, S. (2002). Mechanical-Biological Pre-Treatment of Waste: State of the Art and Potentials of Biotechnology, *Acta Biotechnologica*, **22**, 271 - 284
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill International Editions, California, 978 pp.
- TUBERGEN, J.; GLORIUS, T.; WAEYENBERGH, E. (2005). *Classification of Solid Recovered Fuels*. European Recovered Fuel Organization, February 2005
- UNEP; Cal Recovery (2005). *Solid Waste Management*. United Nations Environment Programme
- VESTERINEN, R.; LOHINIVA, E.(2000). *Co-firing of MSW and RDF*. IEA Bioenergy Task 23
- YILDIZ, S.; SALTABAS, F.; ENÇ, V. (2008). *RDF Production from Non-source Separated MSW for Cement Industries: Istanbul Case Study*. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Veneza, Novembro 2008

## **9. APÊNDICES**



## **Apêndice I**

Lista dos resíduos utilizados na produção

<b>Código LER</b>	<b>Descrição (Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março)</b>
02 02 99	02 (Resíduos da Agricultura, Horticultura, Aquacultura, Silvicultura, Caça e Pesca, e da Preparação e Processamento de Produtos Alimentares) 0202 (Resíduos da preparação e processamento de carne, peixe e outros produtos alimentares de origem animal) 020299 (Outros resíduos não anteriormente especificados)
04 02 09	04 (Resíduos da Indústria do Couro e Produtos de Couro e da Indústria Têxtil) 0402 (Resíduos da indústria têxtil) 040209 (Resíduos de materiais compósitos (têxteis impregnados, elastómeros, plastómeros))
07 02 13	07 (Resíduos de processos químicos orgânicos) 0702 (Resíduos FFDU plásticos, borracha e fibras sintéticas) 070213 (Resíduos de plásticos)
07 02 99	07 (Resíduos de processos químicos orgânicos) 0702 (Resíduos FFDU plásticos, borracha e fibras sintéticas) 070299 (Outros resíduos não anteriormente especificados)
08 04 99	08 (Resíduos do fabrico, formulação, distribuição e utilização (FFDU) de revestimentos (tintas, vernizes e esmaltes vítreos), colas, vedantes e tintas de impressão) 0804 (Resíduos do FFDU de colas e vedantes (incluindo produtos impermeabilizantes)) 080499 (Outros resíduos não anteriormente especificados)
09 01 08	09 (Resíduos da indústria fotográfica) 0901 (Resíduos da indústria fotográfica) 090108 (Película e papel fotográfico sem prata ou compostos de prata)
12 01 99	12 (Resíduos da Moldagem e do Tratamento Físico e Mecânico de Superfície de Metais e Plásticos) 1201 (Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos) 120199 (Outros resíduos não anteriormente especificados)
15 01 01	15 (Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificados) 1501 (Embalagens (incluindo resíduos urbanos e equiparados de embalagens, recolhidos separadamente)) 150101 (Embalagens de papel e cartão)
15 01 02	15 (Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificados) 1501 (Embalagens (incluindo resíduos urbanos e equiparados de embalagens, recolhidos separadamente)) 150102 (Embalagens de plástico)
15 01 05	15 (Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificados) 1501 (Embalagens (incluindo resíduos urbanos e equiparados de embalagens, recolhidos separadamente)) 150103 (Embalagens compósitas)

<b>Código LER</b>	<b>Descrição (Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março)</b>
19 12 10	19 (Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial) 1912 (Resíduos do tratamento mecânico de resíduos (por exemplo, triagem, trituração, compactação, peletização) não anteriormente especificados) 191210 (Resíduos combustíveis (combustíveis derivados de resíduos))
19 12 12	19 (Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial) 1912 (Resíduos do tratamento mecânico de resíduos (por exemplo, triagem, trituração, compactação, peletização) não anteriormente especificados) 191212 (Outros resíduos (incluindo misturas de materiais) do tratamento mecânico de resíduos, não abrangidos em 19 12 11)
20 10 99	20 (Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as fracções recolhidas selectivamente) 2001 (Fracções recolhidas selectivamente (excepto 15 01)) 201099 (Outras fracções não anteriormente especificadas)
20 03 01	20 (Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as fracções recolhidas selectivamente) 2003 (Outros resíduos urbanos e equiparados) 200301 (Outros resíduos urbanos e equiparados, incluindo misturas de resíduos)

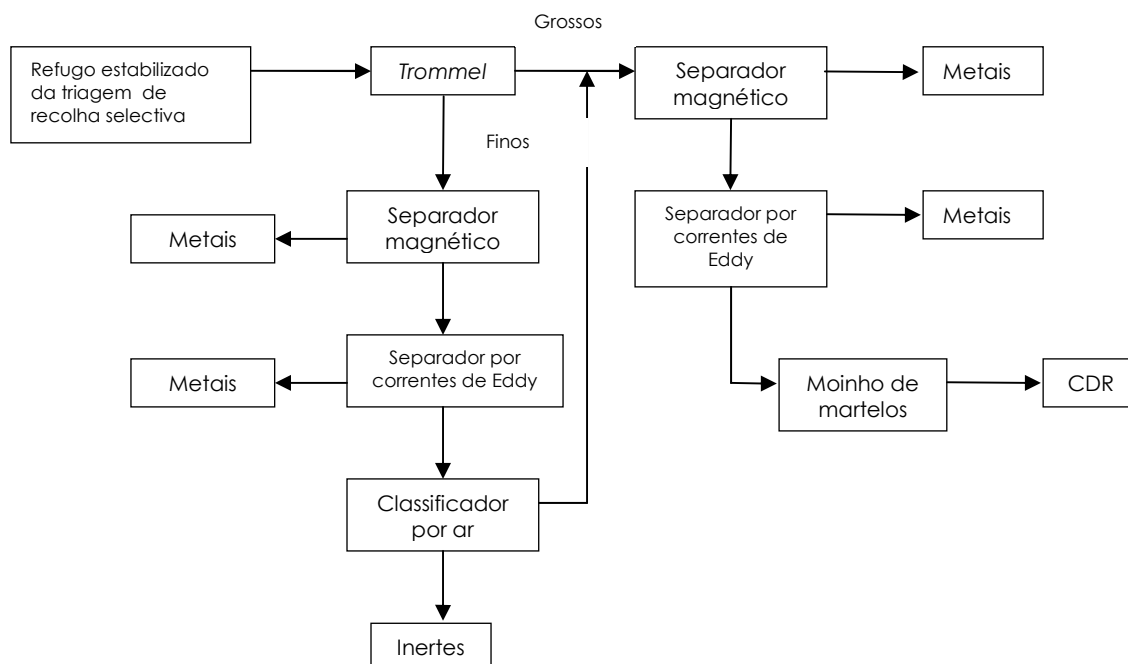
---

## **Apêndice II**

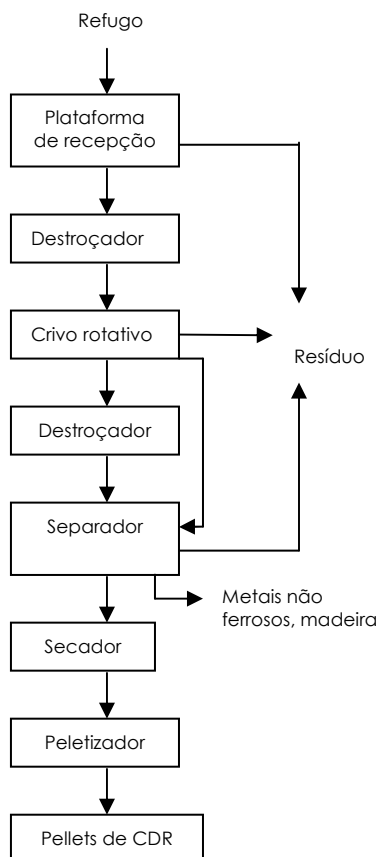
Exemplos de modelos de linhas de produção de CDR



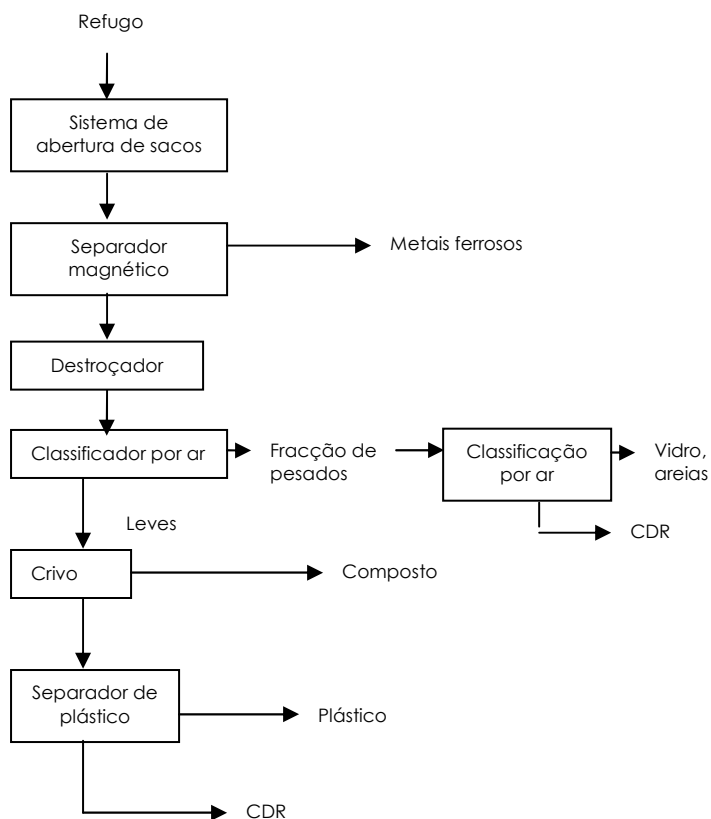
Tratamento mecânico para recuperação da fracção combustível do refugo estabilizado biologicamente resultante da triagem de recolha selectiva para valorização material (adaptado de Giugliano *et al.*, 2008)



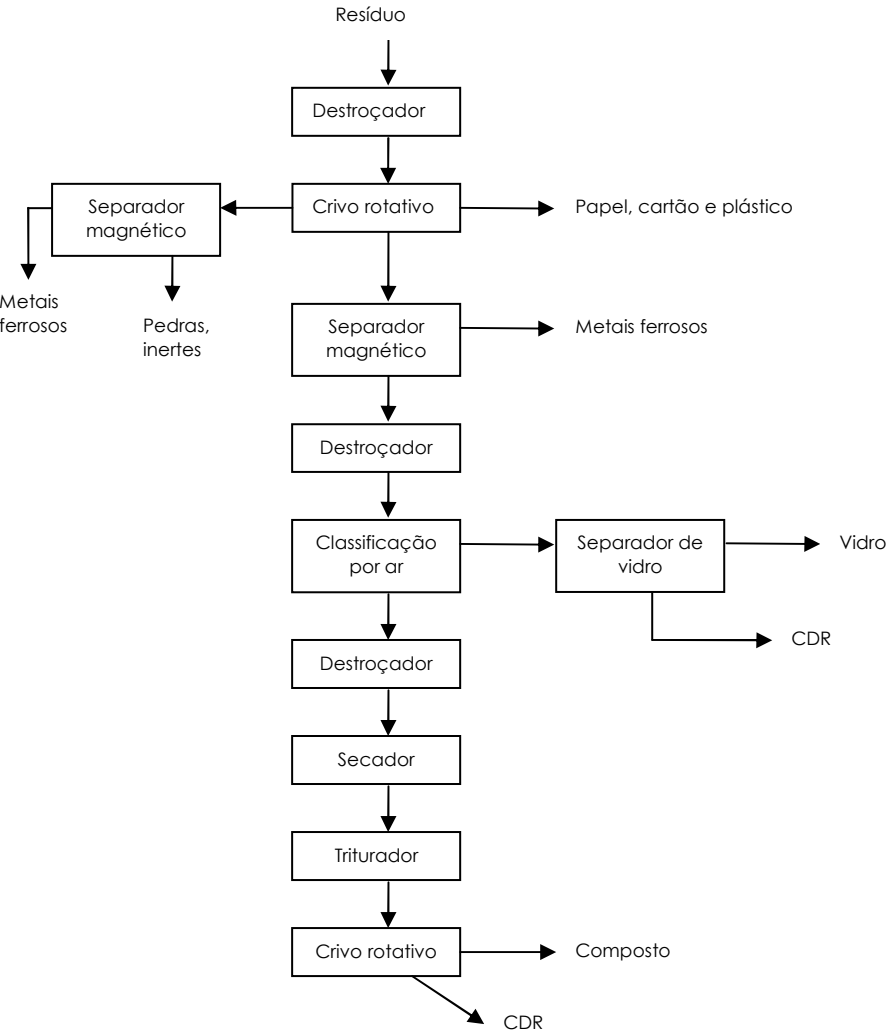
Tratamento mecânico a resíduos industriais na Icopower, Amesterdão (adaptado de Boesmans, 1986)



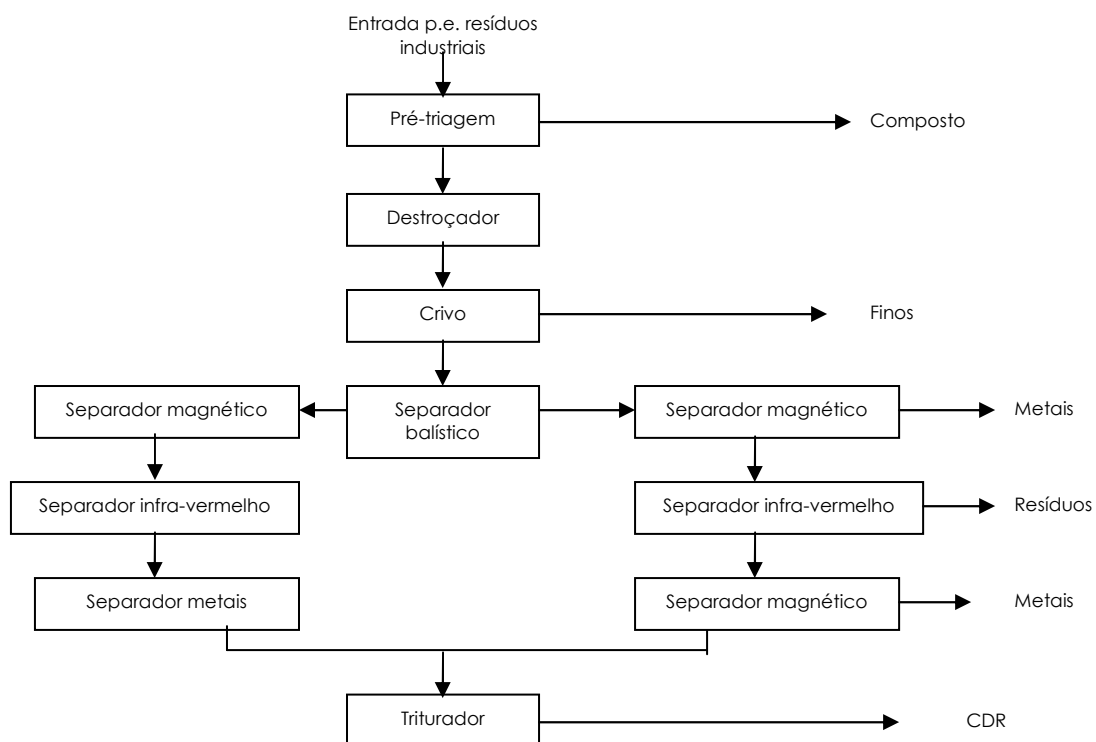
Tratamento mecânico a resíduos domésticos na Esmil, Zoetermeer (adaptado de Boesmans, 1986)



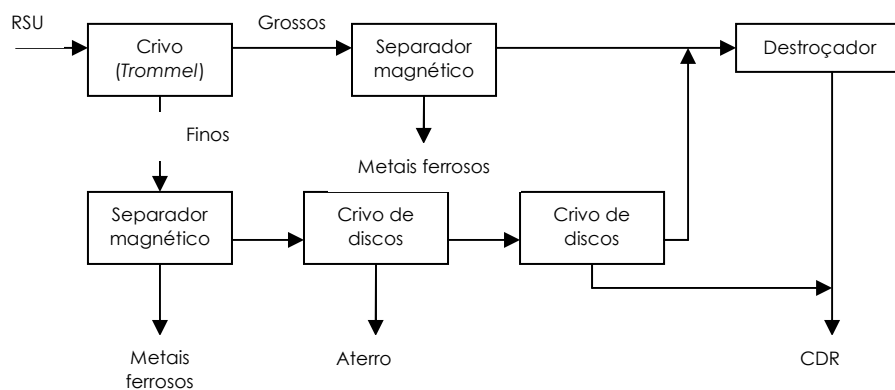
Tratamento mecânico a resíduos domésticos na Ventilex recycling, Heerde(adaptado de Boesmans, 1986)



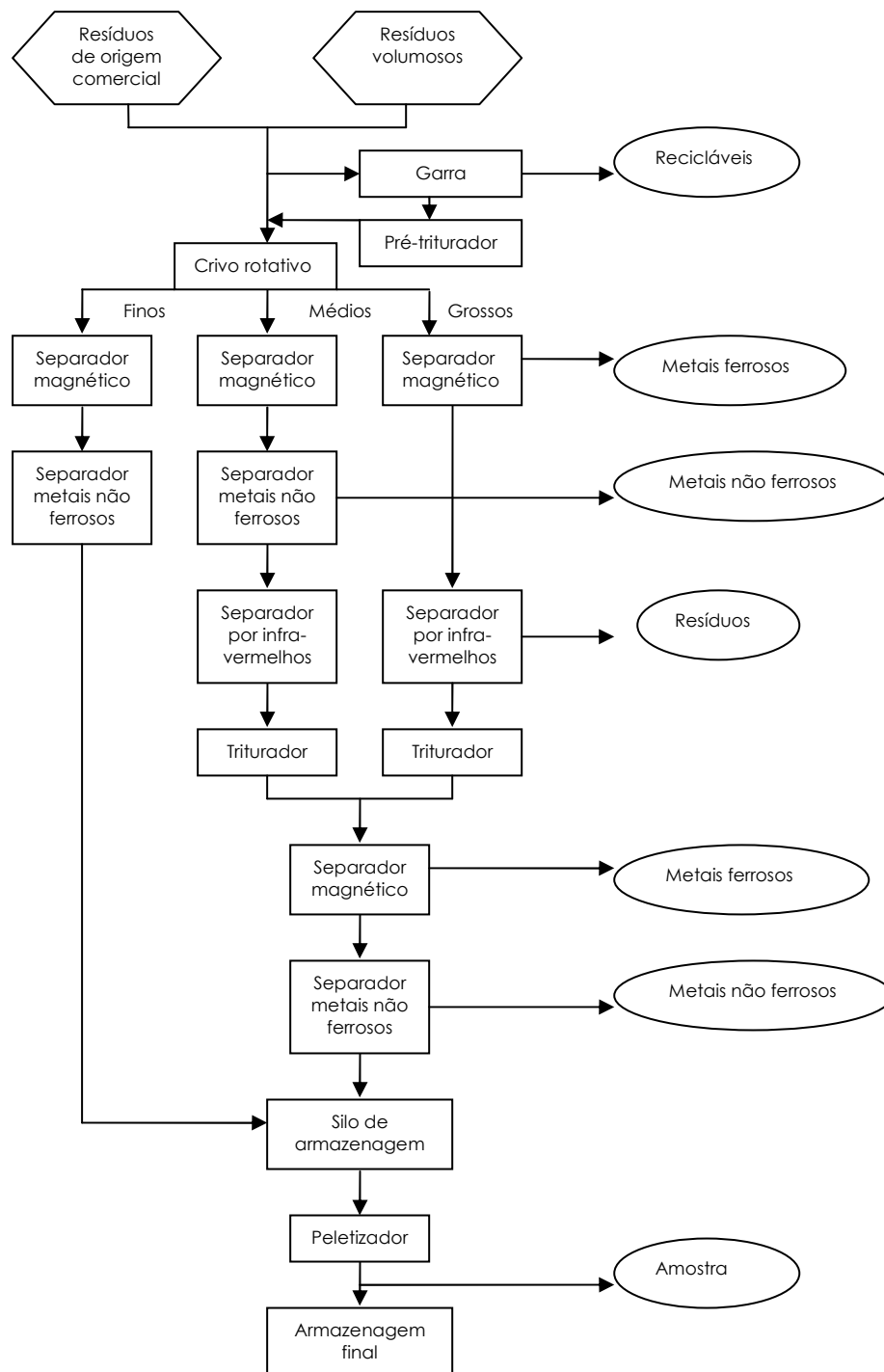
Exemplo de esquema de tratamento mecânico a resíduos (adaptado de Mrotzek *et al.*, 2008)



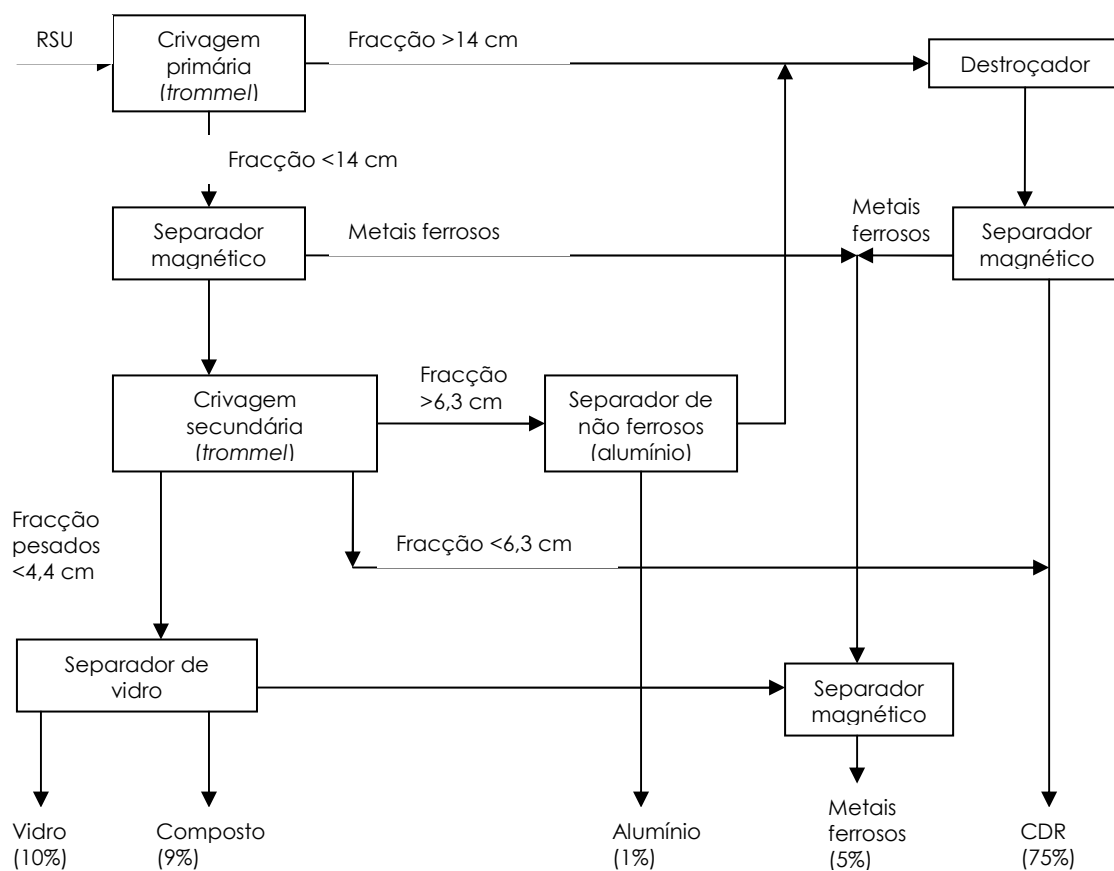
Linha típica de produção de CDR-2, de acordo com a classificação da ASTM, a partir de RSU (adaptado de Robinson, 1986)



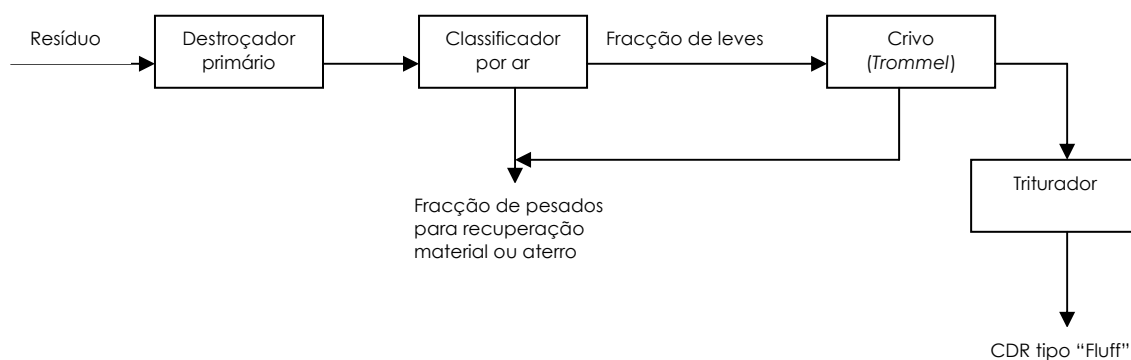
Tratamento mecânico de resíduos numa instalação em Neuss, Alemanha (adaptado de Roos *et al.*, 2007)



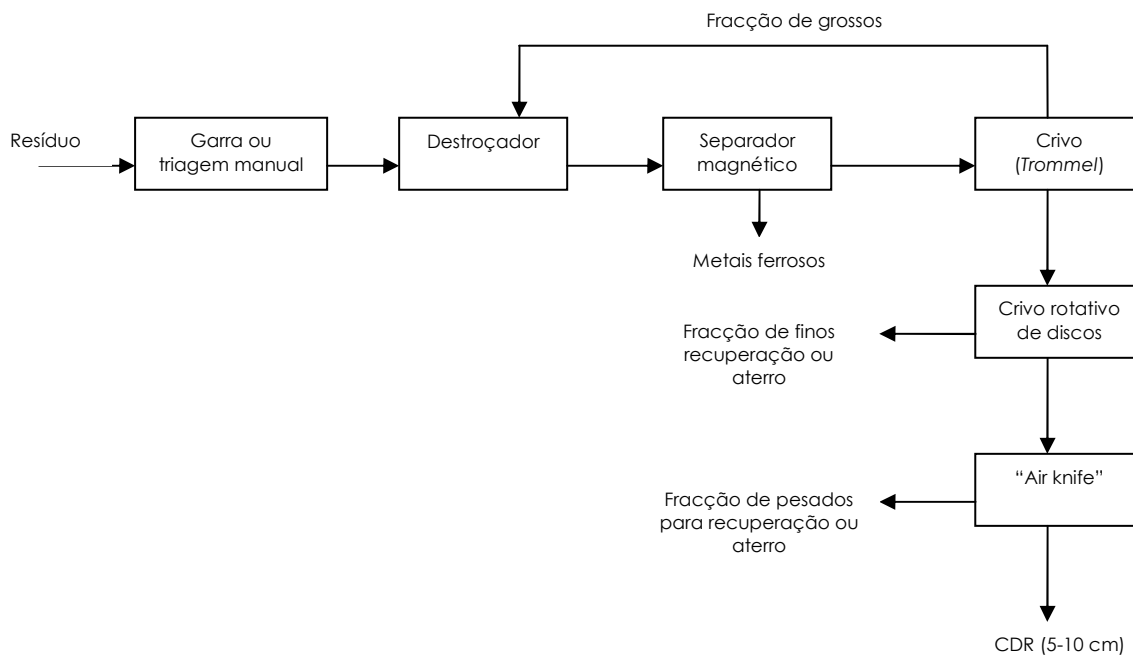
Instalação de processamento de CDR, a partir de 1600 ton/dia, de RSU no "Robbins Resource Resource Facility" Illinois, USA (adaptado de McDougall, *et al.*, 2001)



Esquema típico de produção de CDR tipo "fluff" (adaptado de Office of Technology Assessment, Committee on Science and Technology, Congress, United States, Senate, House, 1979)



Esquema típico de produção de CDR tipo "fluff" (adaptado de Drbal *et al.*, 1996)





### **Apêndice III**

Registos das quantidades de amostras recolhidas e processadas

Amostras resultantes da recolha de CDR - 2007

Recolha/Data (dd-mm-aa)	Amostra lote - massa total recolhida (kg)	Amostra laboratorial - após enquartamento (g)	Amostra intermédia - 4mm; após enquartamento a 10mm (g) (ver notas)	Amostra teste - 1mm; com ou sem enquartamento a 4mm (g)	Observações (materiais não submetidos a processamento)
25-04-07	13	1709	222,3	47,3	0.27 g de cobre 0.478 g de material ferroso 8.6 g de placa de circuito impresso 2.125 g de placa de circuito impresso
26-04-07	5	1265	285,8	65,1	
27-04-07	18	2083	266	58,4	
02-05-07	9	1533	385,9	45,21	
<b>03-05-07</b>	18	1270	642,5	64,3	
09-05-07	15	1302	334,6	77,1	
10-05-07	24	1492	400,8	43,8	
<b>11-05-07</b>	13,5	1771	873,7*	97,2	
<b>14-05-07</b>	9	1344	367,6	84,3	
<b>15-05-07</b>	16,5	1238	602,3*	63,3	
16-05-07	24	1387	344,5	82,3	
17-05-07	12	1656	254,3	98,7	
<b>18-05-07</b>	18	1626	809*	99,9	
21-05-07	16,5	1250	292,2	63,2	
22-05-07	21	1734	208	46,1	
23-05-07	24	1348	344,7	36,3	
<b>24-05-07</b>	19,5	1212	611,8*	78,6	
<b>25-05-07</b>	15	1313	645,2*	80,2	
<b>28-05-07</b>	12	1368	356,6	84,5	
29-05-07	9	907	230	46,7	
30-05-07	24	1331	256,8	58,2	6.25 g de metal ferroso
<b>31-05-07</b>	22,5	1259	631,1*	66,7	
<b>01-06-07</b>	24	1277	613,7	69,7	2.4 g de placa de circuito e 3.09 g de metal ferroso
04-06-07	24	1285	264,9	62,8	
05-06-07	22,5	1111	284,6	64,7	6.25 g de metal ferroso
<b>06-06-07</b>	13,5	1261	620,2*	72,7	
<b>08-06-07</b>	6	1301	654*	73,1	2.4 g de placa de circuito e 3.09 g de metal ferroso
<b>14-06-07</b>	19,5	1190	627,7*	132,7	
15-06-07	6	1265	629,5*	80	6.25 g de metal ferroso
<b>21-06-07</b>	12	1287	627,5*	71,4	
22-06-07	10,5	1170	622,9*	-	2.4 g de placa de circuito e 3.09 g de metal ferroso
<b>28-06-07</b>	3	1500	626,6*	78,2	
<b>03-07-07</b>	6	949,5	- **	-	6.25 g de metal ferroso
<b>06-07-07</b>	7,5	1100	615,3*	76	
<b>09-07-07</b>	19,5	1014,4	-**	-	2.4 g de placa de circuito e 3.09 g de metal ferroso
<b>12-07-07</b>	18	1400	673*	70,8	
<b>24-07-07</b>	7,5	947,9	-**	-	6.25 g de metal ferroso
<b>26-07-07</b>	13,5	1240	670,2*	70,8	
<b>27-07-07</b>	7,5	1222	600,2*	92,5	2.4 g de placa de circuito e 3.09 g de metal ferroso
<b>02-08-07</b>	15	1259,6	611,2*	98,4	

**Notas:**

\* Nestas amostras a quantidade apresentada foi triturada na integra a 1 mm. O enquartamento só foi feito à posteriori.

\*\* Amostras apenas utilizadas no método da triagem manual. Não submetidas a trituração prévia.



Amostras resultantes da recolha de finos - 2007

Recolha/Data (dd-mm-aa)	Amostra lote - massa total recolhida (kg)	Amostra laboratorial - após enquartamento (g)	Amostra teste - 1mm; após enquadamentos a 10 e a 4mm (g)
31-05-07	6,428	1607	97,4
01-06-07	7,660	1772	88,6
04-06-07	4,051	2025	63,0
05-06-07	4,603	2327	74,6
06-06-07	5,033	2510	69,2
08-06-07	2,218	1112	66,42
11-06-07	7,722	821	82,8
12-06-07	5,81	1460	91,6
13-06-07	6,772	3402	94,9
14-06-07	7,280	3682	103,8
15-06-07	3,255	1630	101,2
18-06-07	5,836	2918	89,7
19-06-07	7,681	3840	100,2
21-06-07	4,568	2284	109,1
22-06-07	4,603	1150	63,9
25-06-07	8,494	1100	91,5
26-06-07	6,159	1050	100,2
27-06-07	2,222	1130	74,2
28-06-07	2,702	1320	78,2

Amostras resultantes da recolha de CDR - 2008

Recolha/Data (dd-mm-aa)	Amostra lote - massa total recolhida (kg)	Amostra laboratorial - após enquartamento (g)
04-06-08	6,2	775
06-06-08	5,4	675
09-06-08	4,7	587
16-06-08	5,3	663
24-06-08	6,3	780
09-07-08	6,7	850
11-07-08	5,7	715
22-07-08	7,3	900
24-07-08	6,7	850

Amostras resultantes da recolha de finos - 2008

Recolha/Data (dd-mm-aa)	Amostra lote - massa total recolhida (kg)	Amostra laboratorial - após enquartamento (g)
04-06-08	2,4	600
06-06-08	2,1	530
09-06-08	1,9	480
16-06-08	2,1	530
09-07-08	2,7	680
11-07-08	2,3	580
22-07-08	3,1	780
24-07-08	2,7	700

---

**Apêndice IV**  
Registos da determinação do teor em biomassa pelo método da dissolução selectiva

Determinação do teor em cinzas no CDR (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m cadinho (g)	m amostra (g)	m cadinho + amostra calcinação (g)	Cinzas (A) (%)
26-04-09	29,1572	5,0045	29,6843	10,5
27-04-07	34,8801	5,0017	35,4101	10,6
30-04-07	35,3874	5,0028	35,8401	9,0
02-05-07	33,3633	5,0002	33,8028	8,8
03-05-07	29,1575	5,0020	29,5940	8,7
04-05-07	33,3640	5,0037	33,8754	10,2
10-05-07	32,1118	5,0022	32,6974	11,7
11-05-07	32,6932	5,0018	33,2372	10,9
14-05-07	33,3617	5,0038	33,9875	12,5
15-05-07	35,3857	5,0049	35,9910	12,1
16-05-07	53,8476	5,0041	54,4491	12,0
17-05-07	34,8787	5,0036	35,3735	9,9
18-05-07	33,7479	5,0014	34,1569	8,2
21-05-07	33,2418	5,0028	33,7298	9,8
22-05-07*	29,1556	5,0024	29,6878	10,6
22-05-07*	31,9826	5,0021	32,5668	11,7
23-05-07*	33,3675	5,0031	33,8941	10,5
23-05-07*	32,0094	5,0028	32,5680	11,2
24-05-07	31,9832	5,0006	32,5269	10,9
25-05-07	33,3593	5,0007	33,8202	9,2
28-05-07	32,5526	5,0009	33,0225	9,4
29-05-07	31,9990	5,0021	32,6281	12,6

Determinação do teor em cinzas nos finos (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m cadinho (g)	m amostra (g)	m cadinho + amostra calcinação (g)	Cinzas (A) (%)
31-05-07	30,7166	5,0024	31,9432	24,5
01-06-07	32,9538	5,0012	34,0895	22,7
04-06-07	31,9973	5,0013	33,1696	23,4
05-06-07	34,7187	5,0019	35,7538	20,7
06-06-07	31,9992	5,0010	33,4148	28,3
08-06-07	34,7208	5,0022	35,6992	19,6
11-06-07	33,359	5,0018	34,4434	21,7
12-06-07	33,0276	5,0012	34,2422	24,3
13-06-07	35,1668	5,0018	36,6254	29,2
14-06-07	34,7212	5,0009	35,8035	21,6
15-06-07	33,3588	5,0001	34,1785	16,4
18-06-07	58,7752	5,0023	59,6948	18,4
19-06-07	33,3055	5,0009	34,2084	18,1
20-06-07	33,7583	5,0015	35,4455	33,7
22-06-07	33,2033	5,0008	34,6970	29,9
25-06-07*	33,894	5,0016	36,2091	46,3
25-06-07*	33,9617	5,0018	36,4424	49,6
26-06-07	29,1554	5,0019	30,1687	20,3
27-06-07*	32,9249	5,0007	34,0301	22,1
27-06-07*	33,7566	5,0019	34,9617	24,1
28-06-07	35,2747	5,0004	36,5428	25,4

**Nota:**

\* Testes realizados em duplicado para validar a repetibilidade do método. Foi reportado o valor médio.

Determinação do teor em cinzas no CDR (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m <sub>cadinho</sub> (g)	m <sub>amostra</sub> (g)	m <sub>cadinho + amostra calcinação</sub> (g)	Cinzas (A) (%)
04-06-08	27,4054	5,0348	28,0463	12,7
06-06-08	27,4716	5,0478	28,0591	11,6
09-06-08	27,6580	5,0415	28,7328	21,3
16-06-08	27,3387	5,5212	27,8423	9,1
24-06-08	27,4961	5,3978	28,0233	9,8
09-07-08	27,3876	5,4356	27,9455	10,3
11-07-08	27,5689	5,2345	28,1760	11,6
22-07-08	27,3447	5,4582	28,0489	12,9
24-07-08	58,0060	5,2527	58,7154	13,5

Determinação do teor em cinzas nos finos (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m <sub>cadinho</sub> (g)	m <sub>amostra</sub> (g)	m <sub>cadinho + amostra calcinação</sub> (g)	Cinzas (A) (%)
04-06-08	32,116	5,0234	32,9699	17,0
06-06-08	27,3299	5,0235	27,9356	12,1
09-06-08	27,0722	5,0233	27,881	16,1
16-06-08	27,2683	5,594	28,2449	17,5
09-07-08	27,2456	5,4570	27,9912	13,7
11-07-08	28,0013	5,4874	29,1113	20,2
22-07-08	27,0686	5,2526	28,0552	18,8
24-07-08	58,1615	5,2988	59,1997	19,6

Determinação dos teores biomassa e não biomassa no CDR pelo método da dissolução selectiva (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m filtro (g)	m cadinho calcinado (g)	m residuo (g)	m residuo-ash (g)	A <sub>CDR</sub> (%)	m <sub>residuo</sub> - m <sub>residuo-ash</sub>	(m <sub>residuo</sub> - m <sub>residuo-ash</sub> )/ m <sub>CDR</sub>	A <sub>CDR</sub> /100	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)
26-04-07	5,0025	0,3949	31,9819	2,2182	0,6611	10,5	1,5571	0,3113	0,11	58,3	31,1
27-04-07	5,0013	0,3915	32,9533	1,8444	0,6579	10,6	1,1865	0,2372	0,11	65,7	23,7
30-04-07	5,0026	0,3923	33,0260	2,1801	0,5797	9,0	1,6004	0,3199	0,09	59,0	32,0
02-05-07	5,0020	0,3858	34,8792	2,0450	0,5695	8,8	1,4755	0,2950	0,09	61,7	29,5
03-05-07	5,0024	0,3875	29,1565	2,1785	0,6190	8,7	1,5595	0,3118	0,09	60,1	31,2
04-05-07	5,0006	0,3923	33,9634	2,1811	0,6434	10,2	1,5377	0,3075	0,10	59,0	30,8
10-05-07	5,0015	0,3964	33,3580	1,8617	0,6837	11,7	1,1780	0,2355	0,12	64,7	23,6
11-05-07	5,0020	0,3847	33,3051	2,2503	0,7001	10,9	1,5502	0,3099	0,11	58,1	31,0
14-05-07	5,0009	0,3906	31,9841	2,2357	0,7608	12,5	1,4749	0,2949	0,13	58,0	29,5
15-05-07	5,0010	0,3958	29,1574	1,8959	0,7676	12,1	1,1283	0,2256	0,12	65,3	22,6
16-05-07	5,0004	0,3939	33,2203	2,2366	0,7072	12,0	1,5294	0,3059	0,12	57,4	30,6
17-05-07	5,0012	0,3920	33,7471	2,5808	0,7178	9,9	1,8630	0,3725	0,10	52,9	37,3
18-05-07	5,0006	0,3908	31,9835	2,8765	0,5401	8,2	2,3364	0,4672	0,08	45,1	46,7
21-05-07	5,0007	0,3914	33,3575	2,1824	0,6379	9,8	1,5445	0,3089	0,10	59,4	30,9
22-05-07	5,0006	0,3924	33,0182	2,5494	0,6911	11,2	1,8583	0,3716	0,11	51,7	37,2
23-05-07	5,0012	0,3934	32,9545	2,1857	0,6588	10,8	1,5269	0,3053	0,11	58,6	30,5
24-05-07	5,0015	0,4002	33,3055	2,2015	0,6421	10,9	1,5594	0,3118	0,11	57,9	31,2
25-05-07	5,0010	0,3932	33,2040	2,4008	0,6022	9,2	1,7986	0,3596	0,09	54,8	36,0
28-05-07	5,0001	0,3907	32,9544	2,3858	0,6612	9,4	1,7246	0,3449	0,09	56,1	34,5
29-05-07	5,0013	0,3944	33,3055	2,2046	0,7478	12,6	1,4568	0,2913	0,13	58,3	29,1

Determinação dos teores biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva nos finos (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m filtro (g)	m cadinho calcinado (g)	m resíduo (g)	m resíduo-ash (g)	A <sub>CDR</sub> (%)	m <sub>resíduo -</sub> m <sub>resíduo-ash</sub>	(m <sub>resíduo -</sub> m <sub>resíduo-ash</sub> )/ m <sub>CDR</sub>	A <sub>CDR</sub> /100	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)
31-05-07	5,0011	0,3899	33,0203	1,9159	1,1165	24,5	0,7994	0,1598	0,25	59,5	16,0
01-06-07	5,0019	0,3604	33,7477	2,1798	1,1226	22,7	1,0572	0,2114	0,23	56,2	21,1
04-06-07	5,0011	0,3791	33,3588	2,3454	1,0773	23,4	1,2681	0,2536	0,23	51,2	25,4
05-06-07	5,0018	0,3854	33,2029	1,7163	1,1582	20,7	0,5581	0,1116	0,21	68,1	11,2
06-06-07	5,0014	0,3751	33,7576	1,8729	1,0345	28,3	0,8384	0,1676	0,28	54,9	16,8
08-06-07	5,0005	0,3934	33,9642	2,3221	1,2012	19,6	1,1209	0,2242	0,20	58,0	22,4
11-06-07	5,0003	0,3940	33,3065	2,9004	1,2287	21,7	1,6717	0,3343	0,22	44,9	33,4
12-06-07	5,0001	0,3925	33,2420	2,5718	1,2440	24,3	1,3278	0,2656	0,24	49,2	26,6
13-06-07	5,0019	0,3933	33,9625	2,9889	1,8681	29,2	1,1208	0,2241	0,29	48,4	22,4
14-06-07	5,0011	0,3942	32,5525	2,2618	1,0613	21,6	1,2005	0,2400	0,22	54,4	24,0
15-06-07	5,0006	0,3963	34,7213	2,4532	1,1064	16,4	1,3468	0,2693	0,16	56,7	26,9
18-06-07	5,0002	0,3944	31,9974	2,2109	0,9571	18,4	1,2538	0,2507	0,18	56,5	25,1
19-06-07	5,0012	0,3939	33,0296	2,1359	1,0706	18,1	1,0653	0,2130	0,18	60,6	21,3
20-06-07	5,0010	0,3916	33,3593	2,9147	1,8204	33,7	1,0943	0,2188	0,34	44,4	21,9
22-06-07	5,0018	0,3902	33,3065	2,9025	1,7504	29,9	1,1521	0,2303	0,30	47,1	23,0
25-06-07	5,0002	0,3925	33,7463	3,5250	2,5313	47,9	0,9937	0,1987	0,48	32,2	19,9
26-06-07	5,0003	0,3919	31,9840	2,5800	1,2414	20,3	1,3386	0,2677	0,20	53,0	26,8
27-06-07	5,0008	0,3956	33,0196	2,2802	1,1892	22,1	1,0910	0,2182	0,22	56,1	21,8
28-06-07	5,0004	0,3914	33,3588	2,4924	1,0417	24,1	1,4507	0,2901	0,24	46,9	29,0

Determinação dos teores biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva no CDR (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m filtro (g)	m eadinho calcinado (g)	m resíduo (g)	m resíduo-ash (g)	A CDR (%)	m resíduo - m resíduo-ash	(m resíduo - m resíduo-ash)/ mSRF	A <sub>SFR</sub> /100	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)
04-06-08	5,7685	0,4069	58,0988	2,1870	0,7923	12,7	1,3947	0,2418	0,13	63,1	24,2
06-06-08	5,5211	0,4115	58,5985	2,2345	0,6191	11,6	1,6154	0,2926	0,12	59,1	29,3
09-06-08	5,5701	0,4474	58,0960	2,4928	0,9018	21,3	1,5910	0,2856	0,21	50,1	28,6
16-06-08	5,4867	0,4556	58,1988	2,3729	0,7574	9,1	1,6155	0,2944	0,09	61,4	29,4
24-06-08	5,4053	0,4631	58,1762	2,1899	0,8222	9,8	1,3677	0,2530	0,10	64,9	25,3
09-07-08	5,7416	0,4446	58,5998	2,3979	0,8679	10,3	1,5300	0,2665	0,10	63,1	26,6
11-07-08	5,6906	0,4115	58,3739	2,2492	0,6052	11,6	1,6440	0,2889	0,12	59,5	28,9
22-07-08	5,4211	0,4110	58,4928	2,2069	0,5567	12,9	1,6502	0,3044	0,13	56,7	30,4
24-07-08	5,3292	0,4170	58,4867	2,3680	0,6202	13,5	1,7478	0,3280	0,14	53,7	32,8

Determinação dos teores biomassa e não biomassa pelo método da dissolução selectiva nos finos (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m filtro (g)	m eadinho calcinado (g)	m resíduo (g)	m resíduo-ash (g)	A CDR (%)	m resíduo - m resíduo-ash	(m resíduo - m resíduo- ash)/mSRF	A <sub>SFR</sub> /100	X <sub>B</sub> (%)	X <sub>NB</sub> (%)
04-06-08	5,8568	0,4081	57,8702	2,1815	0,8476	17	1,3339	0,2278	0,17	60,2	22,8
06-06-08	5,8516	0,4175	56,7261	1,3144	0,6712	12	0,6432	0,1099	0,12	77,0	11,0
09-06-08	5,6450	0,4554	58,1199	1,4787	0,6629	16	0,8158	0,1445	0,16	69,4	14,5
16-06-08	5,6461	0,4620	58,6004	1,317	0,6818	17	0,6352	0,1125	0,17	71,3	11,3
09-07-08	5,7138	0,4512	58,6526	1,1921	0,8085	14	0,3836	0,0671	0,14	79,6	6,7
11-07-08	5,4127	0,4066	58,1621	1,8154	0,9809	20	0,8345	0,1542	0,20	64,4	15,4
22-07-08	5,8245	0,4143	57,8377	2,0662	1,2812	19	0,785	0,1348	0,19	67,7	13,5
24-07-08	5,4331	0,4180	57,8352	1,7355	0,7274	20	1,0081	0,1855	0,20	61,9	18,6



## **Apêndice V**

Registos da determinação do teor em biomassa pelo método da triagem manual



Determinação do teor em cinzas nas frações biomassa, não biomassa e inertes para o método da triagem manual (2007)

Data (dd-mm-aa)	Amostra	m <sub>cadinho</sub> (g)	m <sub>amostra</sub> (g)	m <sub>cadinho + amostra calcínada</sub> (g)	Cinzas (%)
02-05-07	Biomassa	29,1570	5,0044	29,6131	9,1
04-05-07	Biomassa	31,9984	5,0025	32,6336	12,7
17-05-07	Biomassa	30,7170	5,0014	31,2975	11,6
30-05-07	Biomassa	33,8958	5,0006	34,5826	13,7
05-06-07	Biomassa	33,2045	5,0012	33,7749	11,4
14-06-07	Biomassa	33,0216	5,0014	33,5830	11,2
22-06-07	Biomassa	32,5527	5,0001	33,0912	10,8
03-07-07	Biomassa	33,3053	5,0007	33,8188	10,3
09-07-07	Biomassa	32,5524	5,0006	33,0630	10,2
24-07-07	Biomassa	32,9539	5,0010	33,6371	13,7
02-05-07	Não biomassa	35,2766	5,0025	35,5668	5,8
04-05-07	Não biomassa	32,1115	5,0012	32,4654	7,1
17-05-07	Não biomassa	32,1109	5,0012	32,548	8,7
30-05-07	Não biomassa	33,2420	5,0007	33,4798	4,8
05-06-07	Não biomassa	32,5529	5,0018	32,8232	5,4
14-06-07	Não biomassa	32,9553	5,0007	33,1309	3,5
22-06-07	Não biomassa	35,2769	5,0019	35,6113	6,7
03-07-07	Não biomassa	31,9973	5,0017	32,2772	5,6
09-07-07	Não biomassa	34,7212	5,0003	35,0140	5,9
24-07-07	Não biomassa	33,3586	5,0005	33,9062	11,0
02-05-07	Inertes	35,1682	5,0008	35,6453	9,5
04-05-07	Inertes	33,9615	5,0015	34,5434	11,6
17-05-07	Inertes	33,0204	5,0007	33,7743	15,1
30-05-07	Inertes	34,8803	5,0014	35,5482	13,4
05-06-07	Inertes	33,3594	5,0014	33,9959	12,7
14-06-07	Inertes	32,1120	5,0019	32,7025	11,8
22-06-07	Inertes	33,9623	5,0017	34,4782	10,3
03-07-07	Inertes	33,7465	5,0013	34,2723	10,5
09-07-07	Inertes	33,0293	5,0012	33,5339	10,1
24-07-07	Inertes	32,2043	5,0016	33,7280	30,5

Determinação do teor em cinzas nas fracções biomassa, não biomassa e inertes para o método da triagem manual (2008)

Data (dd-mm-aa)	Amostra	m <sub>cadinho</sub> (g)	m <sub>amostra</sub> (g)	m <sub>cadinho + amostra calcificada</sub> (g)	Cinzas (%)
04-06-08	Biomassa	27,4842	5,4484	28,2104	13,3
06-06-08	Biomassa	28,4496	5,2918	28,9609	9,7
09-06-08	Biomassa	58,0792	5,4423	58,8230	13,7
16-06-08	Biomassa	58,0789	5,3456	58,8965	15,3
24-06-08	Biomassa	28,0566	5,1175	28,6091	10,8
09-07-08	Biomassa	27,4255	5,2231	28,1056	13,0
11-07-08	Biomassa	58,1235	5,3321	58,7456	11,7
22-07-08	Biomassa	58,1976	5,1234	58,8456	12,6
24-07-08	Biomassa	58,3223	5,2134	58,8923	10,9
04-06-08	Não biomassa	28,2089	5,1415	28,5519	6,7
06-06-08	Não biomassa	58,3700	5,1327	58,8058	8,5
09-06-08	Não biomassa	56,6485	5,5683	57,2770	11,3
16-06-08	Não biomassa	58,3456	5,7689	58,7467	7,0
24-06-08	Não biomassa	27,3456	5,2345	27,7456	7,6
09-07-08	Não biomassa	28,3456	5,2311	28,6957	6,7
11-07-08	Não biomassa	58,4569	5,4321	58,8821	7,8
22-07-08	Não biomassa	58,2341	5,6791	58,6256	6,9
24-07-08	Não biomassa	58,1234	5,5786	58,5457	7,6
04-06-08	Inertes	27,9878	5,7082	28,6568	11,7
06-06-08	Inertes	28,0663	5,2207	28,5740	9,7
09-06-08	Inertes	58,6005	5,2736	59,2866	13,0
16-06-08	Inertes	58,5646	5,3217	59,2456	12,8
24-06-08	Inertes	27,3495	5,4157	27,9789	11,6
09-07-08	Inertes	28,0055	5,5195	28,6583	11,8
11-07-08	Inertes	58,3421	5,3215	58,9889	12,2
22-07-08	Inertes	58,2316	5,4389	58,8321	11,0
24-07-08	Inertes	58,2119	5,5619	58,8547	11,6

Determinação das várias fracções na categoria biomassa (2007)

biomassa													
Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m biológico (g)	(%) orgânicos	m apel/cartão (g)	(%) papel/ cartão	m madeira (g)	(%) madeira	m têxteis (g)	(%) têxteis	m pele/borracha (g)	(%) pele/ borracha	m total biomassa (g)	$\sum x_i^8$ (%)
02-05-07	938,04	0,0356	0,004	386,50	41,20	51,70	5,51	68,30	7,28	4,00	0,43	510,54	54,43
04-05-07	894,00	1,30	0,14	285,90	31,98	34,10	3,81	45,50	5,09	3,00	0,34	369,80	41,36
17-05-07	1290,33	0,12	0,008	422	32,70	83,90	6,50	82,70	6,41	21,60	1,67	610,32	47,30
30-05-07	905,62	0	0	442,8	48,89	62,50	6,90	16,9	1,87	2,74	0,30	524,94	57,96
05-06-07	1136,26	0	0	508,2	44,73	46,90	4,13	65,80	5,79	4,00	0,35	624,90	55,00
14-06-07	956,40	0	0	428,10	44,76	38,70	4,05	20,40	2,13	20,00	2,09	507,20	53,03
22-06-07	1258,10	0	0	587,90	46,73	47,90	3,81	46,10	3,66	6,40	0,51	688,30	54,71
03-07-07	949,50	0	0	379,20	39,94	35,00	3,69	101,20	10,66	7,10	0,75	522,50	55,03
09-07-07	1014,40	0	0	324,60	32,00	43,60	4,30	49,30	4,86	2,20	0,22	419,70	41,37
24-07-07	947,90	0	0	373,60	39,41	78,30	8,26	16,90	1,78	0	0	468,80	49,457

**Nota:**

Todas as fracções referem-se a base seca.

Determinação das várias fracções na categoria não biomassa (2007)

não biomassa						
Amostra/Data (dd-mm-aa)	m plásticos maleáveis (g)	(%) plásticos flexíveis	m plásticos rígidos (g)	(%) plásticos rígidos	m total ñ biomassa (g)	$\sum x_{iNB}$ (%)
02-05-07	249,30	26,58	0	0	249,30	26,58
04-05-07	319,50	35,74	0	0	319,50	35,74
17-05-07	420,10	32,56	0	0	420,10	32,56
30-05-07	237,02	26,17	8,28	0,91	245,30	27,09
05-06-07	266,4	23,45	31,5	2,77	297,90	26,22
14-06-07	247,60	25,89	15,00	1,57	262,60	27,46
22-06-07	332,30	26,41	28,50	2,27	360,80	28,68
03-07-07	210,90	22,21	23,90	2,52	234,80	24,73
09-07-07	316,50	31,20	26,00	2,56	342,50	33,76
24-07-07	215,10	22,69	27,00	2,85	242,10	25,54

**Nota:**

Todas as fracções referem-se a base seca.

Determinação das várias fracções na categoria inerte (2007)

inerte											
Amostra/Data (dd-mm-aa)	m vidro (g)	(%) vidro	m pedras (g)	(%) pedras	m finos (g)	(%) finos	m ferrosos (g)	(%) metais ferrosos	m não ferrosos (g)	(%) metais não ferrosos	m total inerte (g)
02-05-07	1,20	0,13	10,60	1,08	166,40	17,74	0	0	0	0	178,20
04-05-07	0,60	0,07	10,00	1,06	194,10	21,71	0	0	0	0	204,70
17-05-07	9,82	0,76	10,29	0,72	239,8	18,58	0	0	0	0	259,91
30-05-07	1,68	0,19	0	0	133,7	14,76	0	0	0	0	135,38
05-06-07	0	0	3,70	0,29	206,90	18,21	0	0	2,86	0,25	213,46
14-06-07	1,20	0,13	1,80	0,19	181,10	18,94	2,50	0,26	0	0	186,60
22-06-07	0	0	2,20	0,17	205,10	16,30	0	0	1,70	0,14	209,00
03-07-07	0	0	0,80	0,08	184,60	19,44	0,70	0,07	6,10	0,64	192,20
09-07-07	0,90	0,09	1,70	0,17	249,50	24,60	0	0	0,10	0,01	252,20
24-07-07	8,60	0,91	1,90	0,20	220,30	23,24	2,90	0,31	3,30	0,35	237,00

**Nota:**

Todas as fracções referem-se a base seca.

Determinação das várias fracções na categoria biomassa (2008)

biomassa													
Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m biológico (g)	(%) orgânicos	m papel/cartão (g)	(%) papel/ cartão	m madeira (g)	(%) madeira	m têxteis (g)	(%) têxteis	m pele/borracha (g)	(%) pele/ borracha	m total biomassa (g)	$\sum x_i^B$ (%)
04-06-08	1100,32	0	0	292,90	26,62	63,52	5,77	101,00	9,18	103,25	9,38	560,67	50,96
06-06-08	1024,09	0	0	279,60	27,30	36,23	3,54	51,50	5,03	22,00	2,15	389,33	38,02
09-06-08	1039,44	0	0	256,50	24,68	51,96	5,00	155,90	15,00	21,88	2,10	486,24	46,78
16-06-08	1017,00	0	0	221,60	21,79	57,80	5,68	120,50	11,85	33,60	3,30	433,50	42,63
24-06-08	1041,40	0	0	240,80	23,12	59,70	5,73	125,10	12,01	72,50	6,96	498,10	47,83
09-07-08	998,40	0	0	331,40	33,19	45,20	4,53	140,90	14,11	47,70	4,78	565,20	56,61
11-07-08	1176,50	0	0	280,90	23,88	43,60	3,71	219,50	18,66	26,80	2,28	570,80	48,52
22-07-08	1552,90	0	0	338,30	21,79	100,10	6,45	49,10	3,16	54,80	3,53	542,30	34,92
24-07-08	1315,00	0	0	255,50	19,43	45,20	3,44	49,40	3,76	53,00	4,03	403,10	30,65

**Nota:**

Todas as fracções referem-se a base seca.

Determinação das várias fracções na categoria não biomassa (2008)

não biomassa						
Amostra/Data (dd-mm-aa)	m plásticos maleáveis (g)	(%) plásticos flexíveis	m plásticos rígidos (g)	(%) plásticos rígidos	m total ñ biomassa (g)	$\sum x_i^{NB}$ (%)
04-06-08	81,70	7,43	51,89	4,72	133,59	12,14
06-06-08	93,60	9,14	133,60	13,05	227,20	22,19
09-06-08	92,10	8,86	103,20	9,93	195,30	18,79
16-06-08	138,90	13,66	93,50	9,19	232,40	22,85
24-06-08	130,30	12,51	122,5	11,76	252,80	24,28
09-07-08	113,10	11,33	69,40	6,95	182,50	18,28
11-07-08	130,50	11,09	60,50	5,14	191,00	16,23
22-07-08	133,90	8,62	96,60	6,22	230,50	14,84
24-07-08	125,20	9,52	153,20	11,65	278,40	21,17

Determinação das várias fracções na categoria inerte (2008)

inerte											
Amostra/Data (dd-mm-aa)	m vidro (g)	(%) vidro	m pedras (g)	(%) pedras	m finos (g)	(%) finos	m ferrosos (g)	(%) ferrosos	m não ferrosos (g)	(%) metais não ferrosos	m total inerte (g)
04-06-08	0	0	0	0	367,50	33,40	0	0	0	0	367,50
06-06-08	0	0	0	0	401,80	39,23	3,12	0,30	2,64	0,26	407,56
09-06-08	0	0	0	0	355,80	34,23	2,10	0,20	0	0	357,90
16-06-08	0	0	0	0	351,10	34,52	0	0	0	0	351,10
24-06-08	0	0	0	0	290,50	27,90	0	0	0	0	290,50
09-07-08	0	0	0	0	250,70	25,11	0	0	0	0	250,70
11-07-08	0	0	0	0	223,70	19,01	0	0	0	0	223,70
22-07-08	0	0	0	0	234,60	15,11	3,20	0,21	0	0	237,80
24-07-08	0	0	2,00	0,00	217,80	16,56	10,60	0,81	0	0	230,40





## **Apêndice VI**

Registos da determinação do teor em biomassa pelo método do carbono total

Teor em carbono no CSR (2007)

CSR				
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)	Azoto (%)	Hidrogénio (%)	Enxofre (%)
27-04-07	53	0,4	8,5	<0,3
30-04-07	43	<0,3	6,7	<0,3
02-05-07	51	0,6	8,0	<0,3
03-05-07	42	0,3	6,0	<0,3
04-05-07	49	1,7	7,3	<0,3
10-05-07	56	1,0	8,0	<0,3
11-05-07	46	0,5	6,6	<0,3
14-05-07	50	1,0	9,0	<0,3
15-05-07	49	1,2	7,0	<0,3
16-05-07	45,2	1,0	6,6	<0,3
17-05-07	53,6	0,7	6,7	<0,3
18-05-07	59	0,7	10,1	<0,3
21-05-07	55,2	0,8	8,0	<0,3
22-05-07	56,8	1,1	9,2	<0,3
23-05-07	54,6	1,0	9,3	<0,3

**Nota:**

Quando os valores obtidos são  $\leq$ LQ foi considerado, para efeitos de cálculo o valor 0.

Teor em carbono nas cinzas do CSR (2007)

Cinzas CSR	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
27-04-07	4,3
30-04-07	2,6
02-05-07	2,3
03-05-07	2,9
04-05-07	2,8
10-05-07	3,4
11-05-07	3,8
14-05-07	3,3
15-05-07	1,8
16-05-07	2,2
17-05-07	1,5
18-05-07	2,4
21-05-07	1,7
22-05-07	1,7
23-05-07	4,2

Teor em carbono no resíduo após dissolução do CSR (2007)

Dissolução CSR	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
27-04-07	79,3
30-04-07	78,4
02-05-07	85,7
03-05-07	66
04-05-07	45
10-05-07	63
11-05-07	71
14-05-07	76
15-05-07	33
16-05-07	42
17-05-07	25
18-05-07	33
21-05-07	29
22-05-07	63
23-05-07	47

Teor em carbono nas cinzas dos finos (2007)

Cinzas finos	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
31-05-07	2,5
01-06-07	1
04-06-07	1
05-06-07	2,4
06-06-07	1,4
08-06-07	1,9
11-06-07	1
12-06-07	1,3
13-06-07	1
14-06-07	1,9
15-06-07	1,6
18-06-07	1,8
19-06-07	1,2
20-06-07	0,9
22-06-07	1,0
25-06-07	<0.3
26-06-07	0,9

Teor em carbono nos finos (2007)

Finos	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
31-05-07	18
01-06-07	20
04-06-07	33,9
05-06-07	34
06-06-07	27
08-06-07	35
11-06-07	35
12-06-07	34
13-06-07	13
14-06-07	27
15-06-07	30
18-06-07	32
19-06-07	34
20-06-07	22
22-06-07	27
25-06-07	24

Teor em carbono no resíduo após a dissolução dos finos (2007)

Dissolução finos	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
31-05-07	4,8
01-06-07	6,3
04-06-07	12
05-06-07	12
06-06-07	15
08-06-07	37,9
11-06-07	24
12-06-07	15
13-06-07	2,6
14-06-07	11
15-06-07	20
18-06-07	22
19-06-07	15
20-06-07	15
22-06-07	9
25-06-07	25

Determinação da fracção não-biomassa para o cálculo da biomassa como carbono total no "CDR" (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m filtro (g)	m resíduo (g)	A (%)	X <sub>NB</sub>
27-04-07	5,0020	0,3868	2,1562	10,60	24,8
30-04-07	5,0030	0,3917	2,2723	9,05	28,5
02-05-07	5,0020	0,3827	2,1161	8,79	25,9
03-05-07	5,0003	0,3980	2,0915	8,73	25,1
04-05-07	5,0011	0,3958	2,3875	10,22	29,6
10-05-07	5,0001	0,3912	1,8984	11,71	18,4
11-05-07	5,0003	0,3930	2,3859	10,88	29,0
14-05-07	5,0020	0,3961	2,3320	12,51	26,2
15-05-07	5,0012	0,3924	2,0315	12,09	20,7
16-05-07	5,0017	0,3953	2,3884	12,02	27,8
17-05-07	5,0000	0,3902	2,7950	9,89	38,2
18-05-07	5,0016	0,3899	2,9800	8,18	43,6
21-05-07	5,0013	0,3955	2,3651	9,75	29,6
22-05-07	5,0000	0,3934	2,4072	10,64	29,6
23-05-07	5,0005	0,3927	2,3131	10,53	27,9

Determinação da fracção biomassa como carbono total no "CDR" (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N, °	A amostra (%)	C <sub>ash</sub> (%)	X <sub>residue</sub>	C <sub>residue</sub> (%)	C <sub>tot</sub> (%)	A amostra * C <sub>ash</sub>	X <sub>residue</sub> * C <sub>residue</sub>	X <sub>B</sub> <sup>TC</sup>
27-04-07	1	10,60	4,3	24,78	79,3	53	45,56	1964,85	62,07
30-04-07	2	9,05	2,6	28,54	78,4	43	23,53	2237,58	47,42
02-05-07	3	8,79	2,3	25,86	85,7	51	20,22	2216,59	56,14
03-05-07	4	8,73	2,9	25,14	66	42	25,31	1659,34	59,89
04-05-07	5	10,22	2,8	29,60	45	49	28,62	1332,22	72,23
10-05-07	6	11,71	3,4	18,44	63	56	39,80	1161,50	78,55
11-05-07	7	10,88	3,8	28,98	71	46	41,33	2057,55	54,37
14-05-07	8	12,51	3,3	26,20	76	50	41,27	1990,90	59,36
15-05-07	9	12,09	1,8	20,68	33	49	21,77	682,44	85,63
16-05-07	10	12,02	2,2	27,83	42	45,2	26,44	1168,79	73,56
17-05-07	11	9,89	1,5	38,21	25	53,6	14,83	955,18	81,90
18-05-07	12	8,18	2,4	43,61	33	59	19,63	1439,05	75,28
21-05-07	13	9,75	1,7	29,63	29	55,2	16,58	859,19	84,13
22-05-07	14	10,64	1,7	29,64	63	56,8	18,09	1867,14	66,81
23-05-07	15	11,68	4,2	27,88	47	54,6	49,05	1310,30	75,10

Determinação da fracção não-biomassa para o cálculo da biomassa como carbono total nos "finos" (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m amostra (g)	m filtro (g)	m resíduo (g)	A (%)	X <sub>NB</sub>
31-05-07	5,0027	0,3721	2,4271	24,52	16,6
01-06-07	5,0015	0,3850	2,7434	22,71	24,4
04-06-07	5,0010	0,3878	2,4828	23,44	18,5
05-06-07	5,0009	0,3943	1,5088	20,69	1,6
06-06-07	5,0024	0,3898	1,9171	28,31	2,2
08-06-07	5,0025	0,3921	2,1311	19,56	15,2
11-06-07	5,0014	0,3899	2,4335	21,68	19,2
12-06-07	5,0019	0,3915	2,5633	24,29	19,1
13-06-07	5,0019	0,4025	3,2327	29,16	27,4
14-06-07	5,0004	0,3971	2,4727	21,64	19,9
15-06-07	5,0020	0,3953	2,3712	16,39	23,1
18-06-07	5,0010	0,3950	2,3491	18,38	20,7
19-06-07	5,0004	0,3903	2,2426	18,05	19,0
20-06-07	5,0021	0,3938	2,6506	33,73	11,4
22-06-07	5,0015	0,3934	2,8772	29,87	19,8
25-06-07	5,0009	0,3902	3,3588	46,29	13,1

Determinação da fracção biomassa como carbono total nos "finos" (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N,º	A amostra (%)	C <sub>ash</sub> (%)	X <sub>residue</sub>	C <sub>residue</sub> (%)	C <sub>tot</sub> (%)	A amostra * C <sub>ash</sub>	X <sub>residue</sub> * C <sub>residue</sub>	X <sub>B<sup>TC</sup></sub>
31-05-07	1	24,52	2,5	16,56	4,8	18	61,3	79,48	92,18
01-06-07	2	22,71	1	24,45	6,3	20	22,7	154,01	91,16
04-06-07	3	23,44	1	18,45	12	33,9	23,4	221,42	92,78
05-06-07	4	20,69	2,4	1,59	12	34	49,7	19,10	97,98
06-06-07	5	28,31	1,4	2,23	15	27	39,6	33,38	97,30
08-06-07	6	19,56	1,9	15,20	37,9	35	37,2	576,20	82,48
11-06-07	7	21,68	1	19,18	24	35	21,7	460,33	86,23
12-06-07	8	24,29	1,3	19,13	15	34	31,6	287,00	90,63
13-06-07	9	29,16	1	27,42	2,6	13	29,2	71,29	92,27
14-06-07	10	21,64	1,9	19,87	11	27	41,1	218,53	90,38
15-06-07	11	16,39	1,6	23,11	20	30	26,2	462,17	83,72
18-06-07	12	18,38	1,8	20,69	22	32	33,1	455,19	84,74
19-06-07	13	18,05	1,2	18,99	15	34	21,7	284,82	90,99
20-06-07	14	33,73	0,9	11,38	15	22	30,4	170,75	90,86
22-06-07	15	29,87	1	19,79	9	27	29,9	178,13	92,30
25-06-07	16	46,29	0	13,07	25	24	0	326,85	86,38

Teor em carbono no CSR (2008)

CSR				
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)	Azoto (%)	Hidrogénio (%)	Enxofre (%)
04-06-08	50,8	0,7	7,1	<2,0
06-06-08	50,0	0,9	7,0	<2,0
09-06-08	52,0	0,9	7,0	<2,0
16-06-08	46,0	<0,5	6,4	<2,0
24-06-08	47,7	1,2	6,5	<2,0
09-07-08	46,7	≤0,5	6,1	<2,0
11-07-08	45,0	1,0	5,7	<2,0
22-07-08	44,0	1	5,9	<2,0
24-07-08	44,8	0,5	6,0	<2,0

**Nota:**

Quando os valores obtidos são ≤LQ foi considerado, para efeitos de cálculo o valor 0.

Teor em carbono nas cinzas do CSR(2008)

Cinzas CSR	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
04-06-08	4,8
06-06-08	3,2
09-06-08	6,1
16-06-08	2,0
24-06-08	3,6
09-07-08	6,1
11-07-08	5,8
22-07-08	5,7
24-07-08	3,6

Teor em carbono nas cinzas dos finos (2008)

Cinzas finos	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
04-06-08	4,2
06-06-08	2,0
09-06-08	2,8
16-06-08	4,4
09-07-08	2,1
11-07-08	3,7
22-07-08	2,4
24-07-08	2,3

Teor em carbono no resíduo após  
dissolução (2008)

Dissolução CSR	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
04-06-08	77,0
06-06-08	77,3
09-06-08	55,0
16-06-08	71,7
24-06-08	67,0
09-07-08	66,0
11-07-08	60,0
22-07-08	60,4
24-07-08	68,0

Teor em carbono nos finos (2008)

Finos	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
04-06-08	49,0
06-06-08	35,4
09-06-08	42,9
16-06-08	42,7
09-07-08	39,0
11-07-08	42,2
22-07-08	35,0
24-07-08	42,2

Teor em carbono no resíduo após dissolução selectiva aos finos (2008)

Dissolução finos	
Amostra/Data (dd-mm-aa)	Carbono (%)
04-06-08	74,5
06-06-08	57,5
09-06-08	74,0
16-06-08	68,0
09-07-08	47,0
11-07-08	64,0
22-07-08	62,0
24-07-08	66,0

Determinação da fracção não-biomassa para o cálculo da biomassa como carbono total no "CDR" (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m <sub>CDR</sub> (g)	m <sub>cadinho calcinado</sub> (g)	m <sub>filtro</sub> (g)	m <sub>resíduo</sub> (g)	A (%)	X <sub>NB</sub>
04-06-08	5,6074	58,3744	0,4127	2,6072	12,73	26,4
06-06-08	5,5822	58,4931	0,4143	2,2553	11,64	21,3
09-06-08	5,4753	58,4969	0,4052	2,2156	21,32	11,7
16-06-08	5,4177	58,4887	0,4152	1,8526	9,12	17,4
24-06-08	5,7605	58,5999	0,4135	2,2335	9,77	21,8
09-07-08	5,1647	58,0816	0,4102	2,5008	10,26	30,2
11-07-08	5,2329	57,8314	0,4067	2,1528	11,60	21,8
22-07-08	5,4519	58,6008	0,4087	1,9321	12,90	15,0
24-07-08	5,7914	58,1690	0,4148	2,4755	13,51	22,1

Determinação da fracção biomassa como carbono total no "CDR" (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	A <sub>amostra</sub> (%)	C <sub>ash</sub> (%)	X <sub>residue</sub>	C <sub>residue</sub> (%)	C <sub>tot</sub> (%)	A <sub>amostra</sub> *C <sub>ash</sub>	X <sub>residue</sub> *C <sub>residue</sub>	X <sub>BTC</sub>
04-06-08	1	12,73	4,8	26,41	77	50,8	61,10	2033,29	58,77
06-06-08	2	11,64	3,2	21,34	77,3	50	37,24	1649,67	66,26
09-06-08	3	21,32	6,1	11,75	55	52	130,05	646,02	85,08
16-06-08	4	9,12	2	17,41	71,7	46	18,24	1248,32	72,47
24-06-08	5	9,77	3,6	21,83	67	47,7	35,16	1462,45	68,60
09-07-08	6	10,26	6,1	30,21	66	46,7	62,61	1994,18	55,96
11-07-08	7	11,60	5,8	21,77	60	45	67,27	1306,18	69,48
22-07-08	8	12,90	5,7	15,04	60,4	44	73,54	908,47	77,68
24-07-08	9	13,51	3,6	22,08	68	44,8	48,62	1501,21	65,41

Determinação da fracção não-biomassa para o cálculo da biomassa como carbono total no "CDR" (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	m <sub>CDR</sub> (g)	m <sub>cadinho calcinado</sub> (g)	m <sub>filtro</sub> (g)	m <sub>resíduo</sub> (g)	A (%)	X <sub>NB</sub>
04-06-08	5,4512	58,4931	0,4143	2,2718	17,0	17,1
06-06-08	5,3464	58,5672	0,4049	2,2224	12,1	21,9
09-06-08	5,4588	58,5576	0,4132	2,2856	16,1	18,2
16-06-08	5,5632	57,8396	0,4131	2,9359	17,5	27,9
09-07-08	5,4834	58,4889	0,4150	1,7502	13,7	10,7
11-07-08	5,5625	58,0820	0,4120	1,6921	20,2	2,8
22-07-08	5,3929	58,0062	0,4130	1,5490	18,8	2,3
24-07-08	5,8049	57,6403	0,4083	2,5869	19,6	17,9

Determinação da fracção biomassa como carbono total no "CDR" (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	A <sub>amostra</sub> (%)	C <sub>ash</sub> (%)	X <sub>residue</sub>	C <sub>residue</sub> (%)	C <sub>tot</sub> (%)	A <sub>amostra</sub> *C <sub>ash</sub>	X <sub>residue</sub> *C <sub>residue</sub>	X <sub>BTC</sub>
04-06-08	1	17,00	4,2	17,08	74,5	49	71,4	1272,21	72,58
06-06-08	2	12,06	2	21,94	57,5	35,4	24,1	1261,41	63,69
09-06-08	3	16,10	2,8	18,20	74	42,9	45,1	1346,77	67,56
16-06-08	4	17,46	4,4	27,89	68	42,7	76,8	1896,52	53,79
09-07-08	5	13,66	2,1	10,69	47	39	28,7	502,27	86,39
11-07-08	6	20,23	3,7	2,78	64	42,2	74,8	178,23	94,00
22-07-08	7	18,78	2,4	2,28	62	35	45,1	141,46	94,67
24-07-08	8	19,59	2,3	17,94	66	42,2	45,1	1183,86	70,88





## **Apêndice VII**

Registos da determinação do poder calorífico inferior

Determinação do poder calorífico superior  
(2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	PCS (cal/g)
30-04-07	1	5061,1 5032,6
02-05-07	2	4701,3 4654,5
03-05-07	3	5908,4 5754,1
04-05-07	4	5249,2 5104,1
10-05-07	5	5231,1 5217,9
11-05-07	6	5224,9 5178,2
14-05-07	7	4637,8 4906,6
15-05-07	8	5012,5 5181,2
16-05-07	9	5307,2 5717,5
17-05-07	10	5092,5 5139,8
18-05-07	11	5240,6 5597,7
21-05-07	12	4584,7 4523,8
22-05-07	13	5367,1 5699,7
23-05-07	14	4706,4 4853,6

Determinação do poder calorífico superior  
(2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	PCS (cal/g)
04-06-08	1	5085,4 5193,5
06-06-08	2	4807,7 4819,1
09-06-08	3	4474,9 4839
16-06-08	4	5671,5 5646,8
24-06-08	5	4389,8 4516
09-07-08	6	4402,9 4417,9
11-07-08	7	4373,2 4373,2
22-07-08	8	5499,5 5120,6
24-07-08	9	4760,7 4796,6



## **Apêndice VIII**

Registos da determinação do teor em cloro

Determinação do teor em cloro (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	[NaCl] (mol/l)	Volume AgNO <sub>3</sub> (ml)	Volume NaCl (ml)	[AgNO <sub>3</sub> ] (mol/l)	Volume gasto branco (ml)	Massa de amostra (g)	Volume balão (ml)	Volume amostra (ml)	Volume gasto amostra (ml)	Cloreto (mg/l)	Cloro (mg/kg)	Cloro (%)	Cloro (% m.s.)
11-05-07	1	0,0141	10	10,1	0,0142	0,3	0,853	250	50	3,8	35,3	10357	1,036	1,115
15-05-07	2	0,0141	10	10,1	0,0137	0,3	1,0223	250	50	3,2	28,1	6877	0,688	0,743
18-05-07	3	0,0141	10	9,7	0,0137	0,3	0,9386	250	50	3,9	34,9	9298	0,930	1,000
24-05-07	4	0,0141	10	9,7	0,0137	0,3	0,8357	250	50	2,9	25,2	7542	0,754	0,818
25-05-07	5	0,0141	10	9,7	0,0137	0,3	0,961	250	50	2,2	18,4	4793	0,479	0,535
30-05-07	6	0,0141	10	9,7	0,0137	0,3	0,8651	250	50	1,8	14,5	4203	0,420	0,435
06-06-07	7	0,0141	10	9,7	0,0137	0,3	0,8064	250	50	5,5	50,4	15633	1,563	1,674
08-06-07	8	0,0141	10	9,7	0,0137	0,3	0,9599	250	50	3	26,2	6819	0,682	0,727
14-06-07	9	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,8441	250	50	1,5	9,9	2931	0,293	0,306
15-06-07	10	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,8333	250	50	1,9	13,9	4157	0,416	0,455
21-06-07	11	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,6613	250	50	1,9	13,9	5238	0,524	0,557
22-06-07	12	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,799	250	50	5,8	52,5	16412	1,641	1,724
28-06-07	13	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,7733	250	50	3,8	32,7	10559	1,056	1,091
06-07-07	14	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,621	250	50	1,1	5,9	2391	0,239	0,254
12-07-07	15	0,0141	10	9,9	0,0140	0,5	0,629	250	50	4,1	35,6	14161	1,416	1,541
26-07-07	16	0,0141	10	10	0,0141	0,5	1,0652	250	50	7,9	74,0	17362	1,736	1,826
27-07-07	17	0,0141	10	10	0,0141	0,5	0,8665	200	50	5,7	52,0	11999	1,200	1,292
02-08-07	18	0,0141	10	10	0,0141	0,4	0,9202	250	50	3,7	33,0	8963	0,896	0,924

m.s. - matéria seca

**Nota:** O teor em matéria seca foi calculado com a humidade da amostra após trituração a 1 mm.

Determinação do teor em cloro (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	Nº	[NaCl] (mol/l)	Volume AgNO <sub>3</sub> (ml)	Volume NaCl (ml)	[AgNO <sub>3</sub> ] (mol/l)	Volume gasto branco (ml)	Massa de amostra (g)	Volume balão (ml)	Volume amostra (ml)	Volume gasto amostra (ml)	Cloretos (mg/l)	Cloro (mg/kg)	Cloro (%)	Cloro (% m.s.)
04-06-08	1	0,0141	10	10,5 10,5	0,0148	0,4	0,5804	250	50	2,5	22,0	9495	0,949	1,004
06-06-08	2	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,6537	250	50	3,9	31,2	11928	1,193	1,235
09-06-08	3	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,8034	250	50	4,1	33,1	10303	1,030	1,094
16-06-08	4	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,4994	250	50	3,8	30,2	15133	1,513	1,563
24-06-08	5	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,7815	250	50	3,6	28,3	9057	0,906	0,960
09-07-08	6	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,5939	250	50	3,2	24,5	10302	1,030	1,042
11-07-08	7	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,5276	250	50	2	13,0	6139	0,614	0,626
22-07-08	8	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,7917	250	50	2,1	13,9	4394	0,439	0,449
24-07-08	9	0,0141	10	9,6 9,6	0,0135	0,65	0,8038	250	50	2,7	19,7	6119	0,612	0,650

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O teor em matéria seca foi calculado com a humidade da amostra após trituração a 1 mm.



## **Apêndice IX**

Registos da determinação do teor em metais

Determinação do teor em humidade (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	massa cápsula (g)	massa resíduo (g)	massa cápsula + resíduo seco (g)	Perda 103-5°C (%m/m)	MÉDIA
11-05-07	1	109,8687	25,055	133,1707	7,0	7,1
		109,4315	25,4319	133,0224	7,2	
15-05-07	2	109,431	25,4235	132,9356	7,5	7,4
		109,8687	25,5623	133,5936	7,2	
18-05-07	3	109,1311	25,1476	132,163	8,4	7,9
		102,888	25,2281	126,2419	7,4	
24-05-07	4	107,3008	25,4091	130,8485	7,3	7,9
		102,8923	25,4175	126,1664	8,4	
25-05-07	5	109,9259	26,0894	133,4797	9,7	10,4
		109,5123	25,1385	131,8406	11,2	
30-05-07	6	107,2613	23,3344	129,887	3,0	3,3
		109,5043	23,9578	132,6044	3,6	
06-06-07	7	107,2321	25,7081	131,4147	5,9	6,6
		109,5019	25,3373	133,006	7,2	
08-06-07	8	109,8701	25,1517	133,4381	6,3	6,2
		109,4193	25,3803	133,2759	6,0	
14-06-07	9	109,0925	24,8998	132,9363	4,2	4,1
		102,8762	25,0341	126,899	4,0	
15-06-07	10	109,1081	26,4706	133,2901	8,6	8,6
		102,8971	25,5426	126,2487	8,6	
21-06-07	11	107,2401	24,7891	130,4698	6,3	5,9
		109,5031	25,0133	133,1265	5,6	
22-06-07	12	109,1112	25,506	133,2485	5,4	4,8
		102,8796	25,0344	126,8664	4,2	
28-06-07	13	109,0917	24,6337	132,9832	3,0	3,2
		102,8807	27,5697	129,5376	3,3	
06-07-07	14	107,233	20,8062	126,8661	5,6	5,8
		109,5001	24,7594	132,7921	5,9	
12-07-07	15	109,0932	25,0147	132,0844	8,1	8,1
		102,8762	25,0478	125,8866	8,1	
26-07-07	16	102,875	25,9971	127,5623	5,0	4,9
		109,863	25,3177	133,9623	4,8	
27-07-07	17	109,0944	26,7195	133,8365	7,4	7,1
		107,229	25,0171	130,5236	6,9	
02-08-07	18	109,8533	25,0301	134,2173	2,7	3,0
		109,4131	25,3084	133,8878	3,3	

Determinação do teor em humidade (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	N.º	massa cápsula (g)	massa resíduo (g)	massa cápsula + resíduo seco (g)	Perda 103-5°C (%m/m)	MÉDIA
04-06-08	1	109,8544	30,6602	137,5512	9,7	10,1
		109,4189	28,3354	134,7543	10,6	
		107,2258	34,3909	137,5026	12,0	
06-06-08	2	109,6125	25,2951	131,5834	13,1	12,6
		109,8527	30,5256	138,5518	6,0	
		114,5472	29,174	141,4849	7,7	
09-06-08	3	110,54582	25,8114	134,8699	5,8	6,8
		107,2233	28,6865	134,4306	5,2	
		109,0891	26,3303	134,6323	3,0	
16-06-08	4	107,2243	28,3713	134,6729	3,3	3,1
		116,1948	31,9746	146,7066	4,6	
		109,6075	28,338	136,7589	4,2	
24-06-08	5	109,4968	32,0511	139,9155	5,1	4,4
		114,5425	30,7121	143,5623	5,5	
		109,6069	27,2256	136,0328	2,9	
09-07-08	6	116,1998	27,0144	142,4822	2,7	2,8
		109,6074	25,7794	133,3252	8,0	
		110,4834	25,2133	133,396	9,1	
11-07-08	7					8,6
22-07-08	8					
24-07-08	9					



### Determinação do teor em vanádio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentra ção lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Vanádio (mg/kg)	Vanádio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,0704	<0,15	<15	<b>&lt;16</b>
	488,3		0,0753	<0,15	<15	<b>&lt;17</b>
15-05-07	519	50	0,0593	<0,15	<14	<b>&lt;16</b>
	524,4		0,1187	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
18-05-07	619,7	50	0,0772	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
	616,6		0,0687	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
24-05-07	556,5	50	0,0415	<0,15	<13	<b>&lt;15</b>
	558,1		0,0371	<0,15	<13	<b>&lt;15</b>
25-05-07	560,7	50	0,0408	<0,15	<13	<b>&lt;15</b>
	572,2		0,0498	<0,15	<13	<b>&lt;15</b>
30-05-07	406,9	50	0,0585	<0,15	<18	<b>&lt;19</b>
	397,1		0,049	<0,15	<19	<b>&lt;20</b>
06-06-07	461,5	50	0,0581	<0,15	<16	<b>&lt;17</b>
	454,9		0,041	<0,15	<16	<b>&lt;18</b>
08-06-07	521,9	50	0,0392	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
	528,2		0,0472	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
14-06-07	651,8	50	0,0065	<0,15	<12	<b>&lt;12</b>
	620,3		0,0062	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
15-06-07	667,8	50	0,0174	<0,15	<11	<b>&lt;12</b>
	639		0,0183	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
21-06-07	484	50	0,0291	<0,15	<15	<b>&lt;16</b>
	495,8		0,0377	<0,15	<15	<b>&lt;16</b>
22-06-07	523,6	50	0,0577	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
	540		0,0508	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
28-06-07	430,2	50	0,1121	<0,15	<17	<b>&lt;18</b>
	526,8		0,0922	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
06-07-07	528,2	50	0,067	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
	554		0,0667	<0,15	<14	<b>&lt;14</b>
12-07-07	582,1	50	0,1039	<0,15	<13	<b>&lt;14</b>
	584,8		0,0862	<0,15	<13	<b>&lt;14</b>
26-07-07	531,7	50	0,0919	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
	532,8		0,1105	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
27-07-07	547,5	50	0,0337	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
	546,7		0,0331	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
02-08-07	582,4	50	0,0575	<0,15	<13	<b>&lt;13</b>
	583,2		0,0615	<0,15	<13	<b>&lt;13</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método, em 2007, é de 0,15 mg/l.

### Determinação do teor em crómio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Crómio (mg/kg)	Crómio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,3791	0,3791	38	<b>41</b>
	488,3		0,364	0,364	37	<b>40</b>
15-05-07	519	50	0,3988	0,3988	38	<b>41</b>
	524,4		0,4464	0,4464	43	<b>46</b>
18-05-07	619,7	50	1,082	1,082	87	<b>94</b>
	616,6		1,127	1,127	91	<b>98</b>
24-05-07	556,5	50	0,7931	0,7931	71	<b>77</b>
	558,1		0,7604	0,7604	68	<b>74</b>
25-05-07	560,7	50	1,013	1,013	90	<b>101</b>
	572,2		0,8277	0,8277	72	<b>81</b>
30-05-07	406,9	50	0,2422	0,2422	30	<b>31</b>
	397,1		0,2276	0,2276	29	<b>30</b>
06-06-07	461,5	50	0,1491	0,1491	16	<b>17</b>
	454,9		0,2776	0,2776	31	<b>33</b>
08-06-07	521,9	50	0,1776	0,1776	17	<b>18</b>
	528,2		0,2596	0,2596	25	<b>26</b>
14-06-07	651,8	50	0,2475	0,2475	19	<b>20</b>
	620,3		0,2214	0,2214	18	<b>19</b>
15-06-07	667,8	50	1,007	1,007	75	<b>82</b>
	639		0,1087	<0,13	<10	<b>&lt;11</b>
21-06-07	484	50	0,1944	0,1944	20	<b>21</b>
	495,8		0,1961	0,1961	20	<b>21</b>
22-06-07	523,6	50	0,0568	<0,13	<12	<b>&lt;13</b>
	540		0,0578	<0,13	<12	<b>&lt;13</b>
28-06-07	430,2	50	1,412	1,412	164	<b>170</b>
	526,8		4,976	4,976	472	<b>488</b>
06-07-07	528,2	50	4,02	4,02	381	<b>404</b>
	554		4,02	4,02	363	<b>385</b>
12-07-07	582,1	50	0,0591	<0,13	<11	<b>&lt;12</b>
	584,8		0,0609	<0,13	<11	<b>&lt;12</b>
26-07-07	531,7	50	0,2054	0,2054	19	<b>20</b>
	532,8		0,197	0,197	18	<b>19</b>
27-07-07	547,5	50	0,0461	<0,13	<12	<b>&lt;13</b>
	546,7		0,0535	<0,13	<12	<b>&lt;13</b>
02-08-07	582,4	50	0,0664	<0,13	<11	<b>&lt;12</b>
	583,2		0,0657	<0,13	<11	<b>&lt;11</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,13 mg/l.

### Determinação do teor em cobalto (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Cobalto (mg/kg)	Cobalto (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,0084	<0,13	<13	<14
	488,3		0,0086	<0,13	<13	<14
15-05-07	519	50	0,0148	<0,13	<13	<14
	524,4		0,0121	<0,13	<12	<13
18-05-07	619,7	50	0,0532	<0,13	<10	<11
	616,6		0,0239	<0,13	<11	<11
24-05-07	556,5	50	0,0155	<0,13	<12	<13
	558,1		0,0163	<0,13	<12	<13
25-05-07	560,7	50	0,0166	<0,13	<12	<13
	572,2		0,0163	<0,13	<11	<13
30-05-07	406,9	50	0,0054	<0,13	<16	<17
	397,1		0,0051	<0,13	<16	<17
06-06-07	461,5	50	0,0031	<0,13	<14	<15
	454,9		0,0035	<0,13	<14	<15
08-06-07	521,9	50	0,0071	<0,13	<12	<13
	528,2		0,0094	<0,13	<12	<13
14-06-07	651,8	50	0,0665	<0,13	<10	<10
	620,3		-0,0001	<0,13	<10	<11
15-06-07	667,8	50	0,0016	<0,13	<10	<11
	639		0,0017	<0,13	<10	<11
21-06-07	484	50	0,0065	<0,13	<13	<14
	495,8		0,0064	<0,13	<13	<14
22-06-07	523,6	50	0,0084	<0,13	<12	<13
	540		0,0076	<0,13	<12	<13
28-06-07	430,2	50	0,0188	<0,13	<15	<16
	526,8		0,0208	<0,13	<12	<13
06-07-07	528,2	50	0,0069	<0,13	<12	<13
	554		0,007	<0,13	<12	<12
12-07-07	582,1	50	0,0086	<0,13	<11	<12
	584,8		0,008	<0,13	<11	<12
26-07-07	531,7	50	0,017	<0,13	<12	<13
	532,8		0,0232	<0,13	<12	<13
27-07-07	547,5	50	0,015	<0,13	<12	<13
	546,7		0,0129	<0,13	<12	<13
02-08-07	582,4	50	0,0099	<0,13	<11	<12
	583,2		0,0095	<0,13	<11	<11

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método, em 2007, é de 0,13 mg/l.

### Determinação do teor em níquel (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Níquel (mg/kg)	Níquel (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,1727	<0,18	<18	<b>&lt;20</b>
	488,3		0,1272	<0,18	<18	<b>&lt;20</b>
15-05-07	519	50	0,1495	<0,18	<17	<b>&lt;19</b>
	524,4		0,1562	<0,18	<17	<b>&lt;19</b>
18-05-07	619,7	50	0,2397	0,2397	19	<b>21</b>
	616,6		0,2356	0,2356	19	<b>21</b>
24-05-07	556,5	50	0,3136	0,3136	28	<b>31</b>
	558,1		0,2961	0,2961	27	<b>29</b>
25-05-07	560,7	50	0,3038	0,3038	27	<b>30</b>
	572,2		0,2881	0,2881	25	<b>28</b>
30-05-07	406,9	50	0,1504	<0,18	<22	<b>&lt;23</b>
	397,1		0,135	<0,18	<23	<b>&lt;23</b>
06-06-07	461,5	50	0,1645	<0,18	<20	<b>&lt;21</b>
	454,9		0,0651	<0,18	<20	<b>&lt;21</b>
08-06-07	521,9	50	0,0464	<0,18	<17	<b>&lt;18</b>
	528,2		0,0598	<0,18	<17	<b>&lt;18</b>
14-06-07	651,8	50	0,1029	<0,18	<14	<b>&lt;14</b>
	620,3		0,1008	<0,18	<15	<b>&lt;15</b>
15-06-07	667,8	50	0,0751	<0,18	<13	<b>&lt;15</b>
	639		0,0686	<0,18	<14	<b>&lt;15</b>
21-06-07	484	50	0,1816	0,1816	19	<b>20</b>
	495,8		0,1963	0,1963	20	<b>21</b>
22-06-07	523,6	50	0,2521	0,2521	24	<b>25</b>
	540		0,2806	0,2806	26	<b>27</b>
28-06-07	430,2	50	0,1403	<0,18	<21	<b>&lt;22</b>
	526,8		0,1907	0,1907	18	<b>19</b>
06-07-07	528,2	50	0,0701	<0,18	<17	<b>&lt;18</b>
	554		0,0699	<0,18	<16	<b>&lt;17</b>
12-07-07	582,1	50	0,0416	<0,18	<15	<b>&lt;17</b>
	584,8		0,0412	<0,18	<15	<b>&lt;17</b>
26-07-07	531,7	50	0,0698	<0,18	<17	<b>&lt;18</b>
	532,8		0,0871	<0,18	<17	<b>&lt;18</b>
27-07-07	547,5	50	0,0394	<0,18	<16	<b>&lt;18</b>
	546,7		0,0306	<0,18	<16	<b>&lt;18</b>
02-08-07	582,4	50	0,0609	<0,18	<15	<b>&lt;16</b>
	583,2		0,0538	<0,18	<15	<b>&lt;16</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,18 mg/l.

### Determinação do teor em cobre (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Cobre (mg/kg)	Cobre (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,1856	0,1856	19	<b>20</b>
	488,3		0,3984	0,3984	41	<b>41</b>
15-05-07	519	50	0,2326	0,2326	22	<b>24</b>
	524,4		0,4495	0,4495	43	<b>43</b>
18-05-07	619,7	50	0,9036	0,9036	73	<b>78</b>
	616,6		0,2447	0,2447	20	<b>20</b>
24-05-07	556,5	50	0,1961	0,1961	18	<b>19</b>
	558,1		0,1795	0,1795	16	<b>16</b>
25-05-07	560,7	50	0,1766	0,1766	16	<b>18</b>
	572,2		0,191	0,191	17	<b>17</b>
30-05-07	406,9	50	0,1973	0,1973	24	<b>25</b>
	397,1		0,6339	0,6339	80	<b>80</b>
06-06-07	461,5	50	0,2101	0,2101	23	<b>24</b>
	454,9		0,1807	0,1807	20	<b>20</b>
08-06-07	521,9	50	0,1868	0,1868	18	<b>19</b>
	528,2		0,2136	0,2136	20	<b>20</b>
14-06-07	651,8	50	0,0944	0,0944	7	<b>8</b>
	620,3		0,0065	<0,05	<4	<b>&lt;4</b>
15-06-07	667,8	50	0,9847	0,9847	74	<b>81</b>
	639		1,054	1,054	82	<b>82</b>
21-06-07	484	50	0,2621	0,2621	27	<b>29</b>
	495,8		0,4157	0,4157	42	<b>42</b>
22-06-07	523,6	50	0,4142	0,4142	40	<b>42</b>
	540		0,451	0,451	42	<b>42</b>
28-06-07	430,2	50	0,2477	0,2477	29	<b>30</b>
	526,8		0,354	0,354	34	<b>34</b>
06-07-07	528,2	50	0,1554	0,1554	15	<b>16</b>
	554		0,1508	0,1508	14	<b>14</b>
12-07-07	582,1	50	0,1442	0,1442	12	<b>13</b>
	584,8		0,1452	0,1452	12	<b>12</b>
26-07-07	531,7	50	6,384	6,384	600	<b>631</b>
	532,8		6,807	6,807	639	<b>639</b>
27-07-07	547,5	50	0,4129	0,4129	38	<b>41</b>
	546,7		0,2105	0,2105	19	<b>19</b>
02-08-07	582,4	50	0,4493	0,4493	39	<b>40</b>
	583,2		0,4309	0,4309	37	<b>37</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,05 mg/l.

### Determinação do teor em zinco (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Zinco (mg/kg)	Zinco (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	2,824	2,824	285	<b>306</b>
	488,3		0,4306	0,4306	44	<b>47</b>
15-05-07	519	50	0,5777	0,5777	56	<b>60</b>
	524,4		0,7459	0,7459	71	<b>77</b>
18-05-07	619,7	50	1,585	1,585	128	<b>138</b>
	616,6		1,366	1,366	111	<b>119</b>
24-05-07	556,5	50	0,7849	0,7849	71	<b>77</b>
	558,1		1,194	1,194	107	<b>116</b>
25-05-07	560,7	50	0,4734	0,4734	42	<b>47</b>
	572,2		0,8522	0,8522	74	<b>83</b>
30-05-07	406,9	50	1,105	1,105	136	<b>140</b>
	397,1		0,6231	0,6231	78	<b>81</b>
06-06-07	461,5	50	0,482	0,482	52	<b>56</b>
	454,9		0,6067	0,6067	67	<b>71</b>
08-06-07	521,9	50	7,828	7,828	750	<b>800</b>
	528,2		1,87	1,87	177	<b>189</b>
14-06-07	651,8	50	0,2165	0,2165	17	<b>17</b>
	620,3		0,0075	<0,2	<16	<b>&lt;17</b>
15-06-07	667,8	50	0,2222	0,2222	17	<b>18</b>
	639		0,2438	0,2438	19	<b>21</b>
21-06-07	484	50	0,4275	0,4275	44	<b>47</b>
	495,8		0,5415	0,5415	55	<b>58</b>
22-06-07	523,6	50	1,159	1,159	111	<b>116</b>
	540		0,9829	0,9829	91	<b>96</b>
28-06-07	430,2	50	1,551	1,551	180	<b>186</b>
	526,8		2,784	2,784	264	<b>273</b>
06-07-07	528,2	50	0,6433	0,6433	61	<b>65</b>
	554		0,6582	0,6582	59	<b>63</b>
12-07-07	582,1	50	9,374	9,374	805	<b>876</b>
	584,8		7,364	7,364	630	<b>685</b>
26-07-07	531,7	50	1,12	1,12	105	<b>111</b>
	532,8		1,05	1,05	99	<b>104</b>
27-07-07	547,5	50	0,9952	0,9952	91	<b>98</b>
	546,7		0,9952	0,9952	91	<b>98</b>
02-08-07	582,4	50	2,652	2,652	228	<b>235</b>
	583,2		2,676	2,676	229	<b>237</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,20 mg/l.

### Determinação do teor em arsénio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Arsénio (mg/kg)	Arsénio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,0123	<0,03	<3	<3
	488,3		0,011	<0,03	<3	<3
15-05-07	519	50	0,0079	<0,03	<3	<3
	524,4		0,0111	<0,03	<3	<3
18-05-07	619,7	50	0,0117	<0,03	<2	<3
	616,6		0,0082	<0,03	<2	<2
24-05-07	556,5	50	-0,0006	<0,03	<3	<3
	558,1		-0,0005	<0,03	<3	<3
25-05-07	560,7	50	0,0007	<0,03	<3	<3
	572,2		-0,0015	<0,03	<3	<3
30-05-07	406,9	50	-0,0086	<0,03	<4	<4
	397,1		-0,0046	<0,03	<4	<4
06-06-07	461,5	50	0,0223	<0,03	<3	<3
	454,9		0,0098	<0,03	<3	<3
08-06-07	521,9	50	0,0118	<0,03	<3	<3
	528,2		0,0116	<0,03	<3	<3
14-06-07	651,8	50	0,0007	<0,03	<2	<2
	620,3		-0,0021	<0,03	<2	<2
15-06-07	667,8	50	-0,0026	<0,03	<2	<2
	639		-0,0013	<0,03	<2	<2
21-06-07	484	50	0,0319	0,0319	3	4
	495,8		0,0271	<0,03	<3	<3
22-06-07	523,6	50	0,0326	0,0326	3	3
	540		0,032	0,032	3	3
28-06-07	430,2	50	0,0072	<0,03	<3	<4
	526,8		0,0222	<0,03	<3	<3
06-07-07	528,2	50	-0,0133	<0,03	<3	<3
	554		-0,0154	<0,03	<3	<3
12-07-07	582,1	50	-0,0066	<0,03	<3	<3
	584,8		-0,0004	<0,03	<3	<3
26-07-07	531,7	50	0,0056	<0,03	<3	<3
	532,8		0,0021	<0,03	<3	<3
27-07-07	547,5	50	0,0136	<0,03	<3	<3
	546,7		0,0131	<0,03	<3	<3
02-08-07	582,4	50	0,0248	<0,03	<3	<3
	583,2		0,003	<0,03	<3	<3

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,03 mg/l.

### Determinação do teor em selénio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Selénio (mg/kg)	Selénio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,0251	0,0251	3	<b>3</b>
	488,3		0,0257	0,0257	3	<b>3</b>
15-05-07	519	50	-0,0202	<0,02	<2	<b>&lt;3</b>
	524,4		-0,0292	<0,02	<2	<b>&lt;3</b>
18-05-07	619,7	50	0,0017	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	616,6		0,0043	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
24-05-07	556,5	50	0,0018	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	558,1		0,0028	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
25-05-07	560,7	50	0,0016	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	572,2		0,0008	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
30-05-07	406,9	50	-0,0524	<0,02	<3	<b>&lt;3</b>
	397,1		-0,0586	<0,02	<3	<b>&lt;3</b>
06-06-07	461,5	50	-0,0134	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	454,9		-0,0176	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
08-06-07	521,9	50	-0,0176	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	528,2		-0,0466	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
14-06-07	651,8	50	0,0181	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	620,3		-0,0003	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
15-06-07	667,8	50	-0,0034	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	639		-0,0018	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
21-06-07	484	50	0,0244	0,0244	3	<b>3</b>
	495,8		0,0238	0,0238	2	<b>3</b>
22-06-07	523,6	50	0,0215	0,0215	2	<b>2</b>
	540		0,0218	0,0218	2	<b>2</b>
28-06-07	430,2	50	0,0884	0,0884	10	<b>11</b>
	526,8		0,0775	0,0775	7	<b>8</b>
06-07-07	528,2	50	0,0017	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	554		0,0053	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
12-07-07	582,1	50	0,0011	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	584,8		0,0089	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
26-07-07	531,7	50	-0,0015	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	532,8		-0,0071	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
27-07-07	547,5	50	-0,0045	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	546,7		-0,0042	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
02-08-07	582,4	50	0,0009	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	583,2		-0,0007	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,02 mg/l.



# Determinação do teor em cádmio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Cádmio (mg/kg)	Cádmio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,018	<0,02	<2	<2
	488,3		0,0195	<0,02	<2	<2
15-05-07	519	50	0,0139	<0,02	<2	<2
	524,4		0,018	<0,02	<2	<2
18-05-07	619,7	50	0,0295	0,0295	2	3
	616,6		0,0322	0,0322	3	3
24-05-07	556,5	50	0,0261	0,0261	2	3
	558,1		0,0228	0,0228	2	2
25-05-07	560,7	50	0,0143	<0,02	<2	<2
	572,2		0,0146	<0,02	<2	<2
30-05-07	406,9	50	0,0137	<0,02	<2	<3
	397,1		0,012	<0,02	<3	<3
06-06-07	461,5	50	0,0233	0,0233	3	3
	454,9		0,0255	0,0255	3	3
08-06-07	521,9	50	0,037	0,037	4	4
	528,2		0,0404	0,0404	4	4
14-06-07	651,8	50	0,0288	0,0288	2	2
	620,3		-0,0002	<0,02	<2	<2
15-06-07	667,8	50	0,0063	<0,02	<1	<2
	639		0,0074	<0,02	<2	<2
21-06-07	484	50	0,0528	0,0528	5	6
	495,8		0,0425	0,0425	4	5
22-06-07	523,6	50	0,0156	<0,02	<2	<2
	540		0,0207	0,0207	2	2
28-06-07	430,2	50	0,0188	<0,02	<2	<2
	526,8		0,0208	0,0208	2	2
06-07-07	528,2	50	0,1185	0,1185	11	12
	554		0,1234	0,1234	11	12
12-07-07	582,1	50	0,0127	<0,02	<2	<2
	584,8		0,0192	<0,02	<2	<2
26-07-07	531,7	50	0,0128	<0,02	<2	<2
	532,8		0,0126	<0,02	<2	<2
27-07-07	547,5	50	0,0108	<0,02	<2	<2
	546,7		0,0095	<0,02	<2	<2
02-08-07	582,4	50	0,0365	0,0365	3	3
	583,2		0,0377	0,0377	3	3

m.s. - matéria seca

## **Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,02 mg/l.

### Determinação do teor em estanho (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Estanho (mg/kg)	Estanho (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,0973	<0,1	<10	<b>&lt;11</b>
	488,3		0,0596	<0,1	<10	<b>&lt;11</b>
15-05-07	519	50	0,0603	<0,1	<10	<b>&lt;10</b>
	524,4		0,0714	<0,1	<10	<b>&lt;10</b>
18-05-07	619,7	50	0,1734	0,1734	14	<b>15</b>
	616,6		0,1707	0,1707	14	<b>15</b>
24-05-07	556,5	50	0,0743	<0,1	<9	<b>&lt;10</b>
	558,1		0,0412	<0,1	<9	<b>&lt;10</b>
25-05-07	560,7	50	0,0733	<0,1	<9	<b>&lt;10</b>
	572,2		0,0049	<0,1	<9	<b>&lt;10</b>
30-05-07	406,9	50	0,0324	<0,1	<12	<b>&lt;13</b>
	397,1		0,0297	<0,1	<13	<b>&lt;13</b>
06-06-07	461,5	50	0,1433	0,1433	16	<b>17</b>
	454,9		0,1794	0,1794	20	<b>21</b>
08-06-07	521,9	50	0,0532	<0,1	<10	<b>&lt;10</b>
	528,2		0,0766	<0,1	<9	<b>&lt;10</b>
14-06-07	651,8	50	0,1369	0,1369	11	<b>11</b>
	620,3		0,0068	<0,1	<8	<b>&lt;8</b>
15-06-07	667,8	50	0,0405	<0,1	<7	<b>&lt;8</b>
	639		0,0399	<0,1	<8	<b>&lt;9</b>
21-06-07	484	50	0,0596	<0,1	<10	<b>&lt;11</b>
	495,8		0,0439	<0,1	<10	<b>&lt;11</b>
22-06-07	523,6	50	0,1536	0,1536	15	<b>15</b>
	540		0,1938	0,1938	18	<b>19</b>
28-06-07	430,2	50	0,0746	<0,1	<12	<b>&lt;12</b>
	526,8		0,1184	0,1184	11	<b>12</b>
06-07-07	528,2	50	0,2681	0,2681	25	<b>27</b>
	554		0,2774	0,2774	25	<b>27</b>
12-07-07	582,1	50	0,041	<0,1	<9	<b>&lt;9</b>
	584,8		0,023	<0,1	<9	<b>&lt;9</b>
26-07-07	531,7	50	1,163	1,163	109	<b>115</b>
	532,8		4,414	4,414	414	<b>436</b>
27-07-07	547,5	50	0,1552	0,1552	14	<b>15</b>
	546,7		0,1111	0,1111	10	<b>11</b>
02-08-07	582,4	50	0,5096	0,5096	44	<b>45</b>
	583,2		0,586	0,586	50	<b>52</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,1 mg/l.

### Determinação do teor em antimónio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Antimónio (mg/kg)	Antimónio (mg/kg seca)
11-05-07	496,1	50	0,7458	0,7458	75	<b>81</b>
	488,3		0,4309	0,4309	44	<b>48</b>
15-05-07	519	50	0,0582	<0,3	<29	<b>&lt;31</b>
	524,4		0,0498	<0,3	<29	<b>&lt;31</b>
18-05-07	619,7	50	0,2693	<0,3	<24	<b>&lt;26</b>
	616,6		0,305	0,305	25	<b>27</b>
24-05-07	556,5	50	0,0641	<0,3	<27	<b>&lt;29</b>
	558,1		0,097	<0,3	<27	<b>&lt;29</b>
25-05-07	560,7	50	0,2888	<0,3	<27	<b>&lt;30</b>
	572,2		0,7446	0,7446	65	<b>73</b>
30-05-07	406,9	50	0,7289	0,7289	90	<b>93</b>
	397,1		0,2882	<0,3	<38	<b>&lt;39</b>
06-06-07	461,5	50	0,1101	<0,3	<33	<b>&lt;35</b>
	454,9		0,1072	<0,3	<33	<b>&lt;35</b>
08-06-07	521,9	50	0,1136	<0,3	<29	<b>&lt;31</b>
	528,2		0,175	<0,3	<28	<b>&lt;30</b>
14-06-07	651,8	50	0,3506	0,3506	27	<b>28</b>
	620,3		0,0868	<0,3	<24	<b>&lt;25</b>
15-06-07	667,8	50	0,0903	<0,3	<23	<b>&lt;25</b>
	639		0,0488	<0,3	<24	<b>&lt;26</b>
21-06-07	484	50	0,1832	<0,3	<31	<b>&lt;33</b>
	495,8		0,0983	<0,3	<30	<b>&lt;32</b>
22-06-07	523,6	50	1,234	1,234	118	<b>124</b>
	540		0,8752	0,8752	81	<b>85</b>
28-06-07	430,2	50	0,5327	0,5327	62	<b>64</b>
	526,8		0,5101	0,5101	48	<b>50</b>
06-07-07	528,2	50	0,2255	<0,3	<28	<b>&lt;30</b>
	554		0,236	<0,3	<27	<b>&lt;29</b>
12-07-07	582,1	50	0,0779	<0,3	<26	<b>&lt;28</b>
	584,8		0,0991	<0,3	<26	<b>&lt;28</b>
26-07-07	531,7	50	0,1313	<0,3	<28	<b>&lt;30</b>
	532,8		0,2861	<0,3	<28	<b>&lt;30</b>
27-07-07	547,5	50	0,6018	0,6018	55	<b>59</b>
	546,7		0,5406	0,5406	49	<b>53</b>
02-08-07	582,4	50	0,3011	0,3011	26	<b>27</b>
	583,2		0,2176	<0,3	<26	<b>&lt;27</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método, em 2007, é de 0,3 mg/l.

### Determinação do teor em bário (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Bário (mg/kg)	Bário (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,3549	0,3549	36	<b>39</b>
	488,3		0,3544	0,3544	36	<b>39</b>
15-05-07	519	50	0,318	0,318	31	<b>33</b>
	524,4		0,408	0,408	39	<b>42</b>
18-05-07	619,7	50	0,5506	0,5506	44	<b>48</b>
	616,6		0,7083	0,7083	57	<b>62</b>
24-05-07	556,5	50	0,3389	0,3389	30	<b>33</b>
	558,1		0,3528	0,3528	32	<b>34</b>
25-05-07	560,7	50	0,4595	0,4595	41	<b>46</b>
	572,2		0,5366	0,5366	47	<b>52</b>
30-05-07	406,9	50	0,305	0,305	37	<b>39</b>
	397,1		0,5879	0,5879	74	<b>77</b>
06-06-07	461,5	50	0,1775	0,1775	19	<b>21</b>
	454,9		0,2187	0,2187	24	<b>26</b>
08-06-07	521,9	50	0,1776	0,1776	17	<b>18</b>
	528,2		0,1972	0,1972	19	<b>20</b>
14-06-07	651,8	50	0,3068	0,3068	24	<b>25</b>
	620,3		0,3093	0,3093	25	<b>26</b>
15-06-07	667,8	50	0,5703	0,5703	43	<b>47</b>
	639		0,4624	0,4624	36	<b>40</b>
21-06-07	484	50	0,43	0,43	44	<b>47</b>
	495,8		0,4222	0,4222	43	<b>45</b>
22-06-07	523,6	50	0,3839	0,3839	37	<b>39</b>
	540		0,481	0,481	45	<b>47</b>
28-06-07	430,2	50	0,0591	<0,12	<14	<b>&lt;14</b>
	526,8		0,2575	0,2575	24	<b>25</b>
06-07-07	528,2	50	0,4993	0,4993	47	<b>50</b>
	554		0,6816	0,6816	62	<b>65</b>
12-07-07	582,1	50	0,5171	0,5171	44	<b>48</b>
	584,8		0,8265	0,8265	71	<b>77</b>
26-07-07	531,7	50	0,2468	0,2468	23	<b>24</b>
	532,8		0,3437	0,3437	32	<b>34</b>
27-07-07	547,5	50	0,4549	0,4549	42	<b>45</b>
	546,7		0,6931	0,6931	63	<b>68</b>
02-08-07	582,4	50	0,1962	0,1962	17	<b>17</b>
	583,2		0,3341	0,3341	29	<b>30</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método, em 2007, é de 0,12 mg/l.

### Determinação do teor em tálio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Tálio (mg/kg)	Tálio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	-0,0253	<0,02	<2	<2
	488,3		-0,0297	<0,02	<2	<2
15-05-07	519	50	0,0007	<0,02	<2	<2
	524,4		-0,0044	<0,02	<2	<2
18-05-07	619,7	50	0,0095	<0,02	<2	<2
	616,6		0,0107	<0,02	<2	<2
24-05-07	556,5	50	0,0158	<0,02	<2	<2
	558,1		0,0175	<0,02	<2	<2
25-05-07	560,7	50	0,0201	0,02	2	2
	572,2		0,0211	0,02	2	2
30-05-07	406,9	50	-0,0036	<0,02	<2	<2
	397,1		-0,0066	<0,02	<3	<3
06-06-07	461,5	50	0,0058	<0,02	<2	<2
	454,9		0,006	<0,02	<2	<2
08-06-07	521,9	50	0,0072	<0,02	<2	<2
	528,2		0,0082	<0,02	<2	<2
14-06-07	651,8	50	0,0225	0,02	2	2
	620,3		-0,002	<0,02	<2	<2
15-06-07	667,8	50	0,0018	<0,02	<2	<2
	639		0,0033	<0,02	<2	<2
21-06-07	484	50	0,1702	0,1702	18	19
	495,8		0,1885	0,1885	19	20
22-06-07	523,6	50	0,1783	0,1783	17	18
	540		0,1829	0,1829	17	18
28-06-07	430,2	50	0,424	0,424	49	51
	526,8		0,643	0,643	61	63
06-07-07	528,2	50	0,0128	<0,02	<2	<2
	554		0,0114	<0,02	<2	<2
12-07-07	582,1	50	0,0124	<0,02	<2	<2
	584,8		0,0143	<0,02	<2	<2
26-07-07	531,7	50	0,0036	<0,02	<2	<2
	532,8		0,0056	<0,02	<2	<2
27-07-07	547,5	50	0,0021	<0,02	<2	<2
	546,7		0,0079	<0,02	<2	<2
02-08-07	582,4	50	0,0163	<0,02	<2	<2
	583,2		0,015	<0,02	<2	<2

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,02 mg/l.

### Determinação do teor em chumbo (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Chumbo (mg/kg)	Chumbo (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	0,1533	0,1533	15	<b>17</b>
	488,3		0,1781	0,1781	18	<b>20</b>
15-05-07	519	50	0,1337	<0,15	<14	<b>&lt;16</b>
	524,4		0,1088	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
18-05-07	619,7	50	0,2273	0,2273	18	<b>20</b>
	616,6		0,2461	0,2461	20	<b>21</b>
24-05-07	556,5	50	0,1944	0,1944	17	<b>19</b>
	558,1		0,1727	0,1727	15	<b>17</b>
25-05-07	560,7	50	0,1431	<0,15	<13	<b>&lt;15</b>
	572,2		0,1516	0,1516	13	<b>15</b>
30-05-07	406,9	50	0,0383	<0,15	<18	<b>&lt;19</b>
	397,1		0,0631	<0,15	<19	<b>&lt;20</b>
06-06-07	461,5	50	0,1934	0,1934	21	<b>22</b>
	454,9		0,2098	0,2098	23	<b>25</b>
08-06-07	521,9	50	0,183	0,183	18	<b>19</b>
	528,2		0,1801	0,1801	17	<b>18</b>
14-06-07	651,8	50	0,2687	0,2687	21	<b>21</b>
	620,3		-0,0113	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
15-06-07	667,8	50	0,0529	<0,15	<11	<b>&lt;12</b>
	639		0,0607	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
21-06-07	484	50	0,1279	<0,15	<15	<b>&lt;16</b>
	495,8		0,1515	0,1515	15	<b>16</b>
22-06-07	523,6	50	0,2132	0,2132	20	<b>21</b>
	540		0,2786	0,2786	26	<b>27</b>
28-06-07	430,2	50	0,113	<0,15	<17	<b>&lt;18</b>
	526,8		0,2337	0,2337	22	<b>23</b>
06-07-07	528,2	50	0,4919	0,4919	47	<b>49</b>
	554		0,5104	0,5104	46	<b>49</b>
12-07-07	582,1	50	0,0589	<0,15	<13	<b>&lt;14</b>
	584,8		0,0427	<0,15	<13	<b>&lt;14</b>
26-07-07	531,7	50	0,7358	0,7358	69	<b>73</b>
	532,8		1,403	1,403	132	<b>138</b>
27-07-07	547,5	50	0,1022	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
	546,7		0,0671	<0,15	<14	<b>&lt;15</b>
02-08-07	582,4	50	0,198	0,198	17	<b>18</b>
	583,2		0,1936	0,1936	17	<b>17</b>

m.s. - matéria seca

#### Nota:

O limite de quantificação do método é de 0,15 mg/l.

### Determinação do teor em potássio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Potássio (mg/kg)	Potássio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	8,826	8,826	890	<b>958</b>
	488,3		9,507	9,507	973	<b>1048</b>
15-05-07	519	50	6,864	6,864	661	<b>714</b>
	524,4		1,84	1,84	175	<b>189</b>
18-05-07	619,7	50	10,06	10,06	812	<b>873</b>
	616,6		10,4	10,4	843	<b>907</b>
24-05-07	556,5	50	5,281	5,281	474	<b>515</b>
	558,1		5,088	5,088	456	<b>494</b>
25-05-07	560,7	50	6,603	6,603	589	<b>657</b>
	572,2		6,531	6,531	571	<b>637</b>
30-05-07	406,9	50	8,398	8,398	1032	<b>1067</b>
	397,1		15,158	15,158	1909	<b>1974</b>
06-06-07	461,5	50	2,15	2,15	233	<b>249</b>
	454,9		2,859	2,859	314	<b>336</b>
08-06-07	521,9	50	3,924	3,924	376	<b>401</b>
	528,2		5,084	5,084	481	<b>513</b>
14-06-07	651,8	50	8,467	8,467	650	<b>677</b>
	620,3		10,75	10,75	867	<b>904</b>
15-06-07	667,8	50	16,91	16,91	1266	<b>1385</b>
	639		12,67	12,67	991	<b>1085</b>
21-06-07	484	50	7,013	7,013	724	<b>770</b>
	495,8		8,051	8,051	812	<b>863</b>
22-06-07	523,6	50	6,926	6,926	661	<b>695</b>
	540		8,376	8,376	776	<b>815</b>
28-06-07	430,2	50	6,515	6,515	757	<b>782</b>
	526,8		9,465	9,465	898	<b>928</b>
06-07-07	528,2	50	4,252	4,252	402	<b>427</b>
	554		5,988	5,988	540	<b>574</b>
12-07-07	582,1	50	5,341	5,341	459	<b>499</b>
	584,8		5,7	5,7	487	<b>530</b>
26-07-07	531,7	50	3,652	3,652	343	<b>361</b>
	532,8		3,773	3,773	354	<b>372</b>
27-07-07	547,5	50	7,61	7,61	695	<b>748</b>
	546,7		8,129	8,129	743	<b>800</b>
02-08-07	582,4	50	4,703	4,703	404	<b>416</b>
	583,2		5,021	5,021	430	<b>444</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 1,7 mg/l.

### Determinação do teor em sódio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Sódio (mg/kg)	Sódio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	6,554	6,554	661	711
	488,3		6,496	6,496	665	716
15-05-07	519	50	1,697	1,697	163	177
	524,4		26,26	26,26	2504	2704
18-05-07	619,7	50	8,557	8,557	690	742
	616,6		8,68	8,68	704	757
24-05-07	556,5	50	52,48	52,48	4715	5114
	558,1		51,62	51,62	4625	5016
25-05-07	560,7	50	67,56	67,56	6025	6724
	572,2		64,76	64,76	5659	6316
30-05-07	406,9	50	29,8	29,8	3662	3787
	397,1		36,18	36,18	4556	4711
06-06-07	461,5	50	4,564	4,564	494	529
	454,9		6,715	6,715	738	790
08-06-07	521,9	50	6,848	6,848	656	699
	528,2		7,55	7,55	715	762
14-06-07	651,8	50	37,78	37,78	2898	3022
	620,3		34,24	34,24	2760	2878
15-06-07	667,8	50	7,568	7,568	567	620
	639		7,384	7,384	578	632
21-06-07	484	50	7,264	7,264	750	797
	495,8		7,309	7,309	737	783
22-06-07	523,6	50	7,316	7,316	699	734
	540		7,228	7,228	669	703
28-06-07	430,2	50	9,166	9,166	1065	1101
	526,8		8,951	8,951	850	878
06-07-07	528,2	50	25,36	25,36	2401	2548
	554		24,9	24,9	2247	2386
12-07-07	582,1	50	8,555	8,555	735	800
	584,8		9,176	9,176	785	854
26-07-07	531,7	50	5,431	5,431	511	537
	532,8		6,11	6,11	573	603
27-07-07	547,5	50	8,962	8,962	818	881
	546,7		8,129	8,129	743	800
02-08-07	582,4	50	6,303	6,303	541	558
	583,2		8,061	8,061	691	712

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 0,63 mg/l.



### Determinação do teor em alumínio (2007)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Alumínio (mg/kg)	Alumínio (mg/kg m.s.)
11-05-07	496,1	50	31,08	31,08	3132	<b>3372</b>
	488,3		40,36	40,36	4133	<b>4449</b>
15-05-07	519	50	18,548	18,548	1787	<b>1930</b>
	524,4		69,34	69,34	6611	<b>7140</b>
18-05-07	619,7	50	45,74	45,74	3690	<b>3968</b>
	616,6		43,2	43,2	3503	<b>3767</b>
24-05-07	556,5	50	16,282	16,282	1463	<b>1587</b>
	558,1		14,688	14,688	1316	<b>1427</b>
25-05-07	560,7	50	17,244	17,244	1538	<b>1716</b>
	572,2		3,014	3,014	263	<b>294</b>
30-05-07	406,9	50	27,54	27,54	3384	<b>3500</b>
	397,1		26,46	26,46	3332	<b>3445</b>
06-06-07	461,5	50	13,98	13,98	1515	<b>1622</b>
	454,9		20,8	20,8	2286	<b>2448</b>
08-06-07	521,9	50	11,07	11,07	1061	<b>1131</b>
	528,2		12,97	12,97	1228	<b>1309</b>
14-06-07	651,8	50	20,92	20,92	1605	<b>1673</b>
	620,3		33,88	33,88	2731	<b>2848</b>
15-06-07	667,8	50	68,15	68,15	5103	<b>5583</b>
	639		32,36	32,36	2532	<b>2770</b>
21-06-07	484	50	14,742	14,742	1523	<b>1618</b>
	495,8		19,512	19,512	1968	<b>2091</b>
22-06-07	523,6	50	58,34	58,34	5571	<b>5852</b>
	540		28,2	28,2	2611	<b>2743</b>
28-06-07	430,2	50	51,52	51,52	5988	<b>6186</b>
	526,8		47,92	47,92	4548	<b>4699</b>
06-07-07	528,2	50	85,36	85,36	8080	<b>8578</b>
	554		85,38	85,38	7706	<b>8180</b>
12-07-07	582,1	50	121,86	121,86	10467	<b>11390</b>
	584,8		73,78	73,78	6308	<b>6864</b>
26-07-07	531,7	50	50,92	50,92	4788	<b>5035</b>
	532,8		49,46	49,46	4642	<b>4881</b>
27-07-07	547,5	50	18,006	18,006	1644	<b>1770</b>
	546,7		18,806	18,806	1720	<b>1851</b>
02-08-07	582,4	50	46,66	46,66	4006	<b>4130</b>
	583,2		65,9	65,9	5650	<b>5825</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:**

O limite de quantificação do método é de 2,0 mg/l.

### Determinação do teor em vanádio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Vanádio (mg/kg)	Vanádio (mg/kg m.s.)
04-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0624	<0,075	<6	<6
	605,3		0,0603	<0,075	<6	<7
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0514	<0,075	<5	<5
	762,1		0,0144	<0,075	<5	<5
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,0991	0,0991	8	8
	588,8		0,0895	0,0895	8	8
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0567	<0,075	<5	<5
	742,2		0,0701	<0,075	<5	<5
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0483	<0,075	<6	<6
	608		0,0516	<0,075	<6	<7
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,0843	0,0843	5	5
	827		0,1001	0,1001	6	6
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,0912	0,0912	6	6
	776,7		0,1069	0,1069	7	7
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,0777	0,0777	4	4
	883,1		0,0966	0,0966	5	6
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,0469	<0,075	<4	<5
	816,4		0,045	<0,075	<5	<5

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método, em 2008, é de 0,075 mg/l.

### Determinação do teor em crómio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela pela recta (mg/l)	Crómio (mg/kg)	Crómio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,1171	<0,13	<9	<b>&lt;10</b>
	707,9		0,148	0,148	10	<b>11</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0991	<0,13	<9	<b>&lt;9</b>
	762,1		0,0766	<0,13	<9	<b>&lt;9</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,1001	<0,13	<10	<b>&lt;11</b>
	588,8		0,0724	<0,13	<11	<b>&lt;12</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0774	<0,13	<9	<b>&lt;9</b>
	742,2		0,087	<0,13	<9	<b>&lt;9</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0592	<0,13	<11	<b>&lt;11</b>
	608		0,0594	<0,13	<11	<b>&lt;11</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,6921	0,6921	42	<b>42</b>
	827		0,8846	0,8846	53	<b>54</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,1585	0,1585	10	<b>11</b>
	776,7		0,1463	0,1463	9	<b>10</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,099	<0,13	<7	<b>&lt;7</b>
	883,1		0,1144	<0,13	<7	<b>&lt;8</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,2751	0,2751	16	<b>17</b>
	816,4		0,3288	0,3288	20	<b>21</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,13 mg/l.

### Determinação do teor em cobalto (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Cobalto (mg/kg)	Cobalto (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	2,894	2,894	204	<b>215</b>
	707,9		5,547	5,547	392	<b>414</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0504	0,0504	3	<b>4</b>
	762,1		0,017	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,0177	<0,05	<4	<b>&lt;4</b>
	588,8		0,0148	<0,05	<4	<b>&lt;5</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0236	<0,05	<3	<b>&lt;4</b>
	742,2		0,0203	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0063	<0,05	<4	<b>&lt;4</b>
	608		0,0073	<0,05	<4	<b>&lt;4</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,0145	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
	827		0,0165	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,0161	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
	776,7		0,0137	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,0252	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
	883,1		0,0277	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,0065	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>
	816,4		0,0057	<0,05	<3	<b>&lt;3</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método, em 2008, é de 0,05 mg/l.

### Determinação do teor em níquel (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Níquel (mg/kg)	Níquel (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,0503	<0,18	<13	<b>&lt;13</b>
	707,9		0,0524	<0,18	<13	<b>&lt;13</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0754	<0,18	<12	<b>&lt;13</b>
	762,1		0,022	<0,18	<12	<b>&lt;12</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,028	<0,18	<14	<b>&lt;15</b>
	588,8		0,0083	<0,18	<15	<b>&lt;16</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,1211	<0,18	<12	<b>&lt;13</b>
	742,2		0,1227	<0,18	<12	<b>&lt;13</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0314	<0,18	<15	<b>&lt;16</b>
	608		0,0318	<0,18	<15	<b>&lt;16</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,0622	<0,18	<11	<b>&lt;11</b>
	827		0,0755	<0,18	<11	<b>&lt;11</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,1094	<0,18	<12	<b>&lt;12</b>
	776,7		0,0876	<0,18	<12	<b>&lt;12</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,0303	<0,18	<10	<b>&lt;10</b>
	883,1		0,0356	<0,18	<10	<b>&lt;10</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,0354	<0,18	<11	<b>&lt;11</b>
	816,4		0,0476	<0,18	<11	<b>&lt;12</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,18 mg/l.

### Determinação do teor em cobre (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Cobre (mg/kg)	Cobre (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,3468	0,3468	24	<b>26</b>
	707,9		0,2896	0,2896	20	<b>22</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,3606	0,3606	25	<b>26</b>
	762,1		0,3415	0,3415	22	<b>23</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,6504	0,6504	51	<b>54</b>
	588,8		0,3998	0,3998	34	<b>36</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,4832	0,4832	33	<b>34</b>
	742,2		7,149	7,149	482	<b>498</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,19	0,19	15	<b>16</b>
	608		0,2234	0,2234	18	<b>19</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,5837	0,5837	35	<b>36</b>
	827		0,4234	0,4234	26	<b>26</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,3995	0,3995	26	<b>26</b>
	776,7		0,3853	0,3853	25	<b>25</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,3848	0,3848	22	<b>22</b>
	883,1		0,4098	0,4098	23	<b>24</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	53,4	53,4	3175	<b>3374</b>
	816,4		50,13	50,13	3070	<b>3263</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,05 mg/l.

### Determinação do teor em zinco (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Zinco (mg/kg)	Zinco (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	7,564	7,564	533	<b>563</b>
	707,9		8,638	8,638	610	<b>645</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	3,111	3,111	215	<b>223</b>
	762,1		4,263	4,263	280	<b>290</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	4,034	4,034	316	<b>335</b>
	588,8		3,636	3,636	309	<b>328</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	2,148	2,148	146	<b>151</b>
	742,2		1,382	1,382	93	<b>96</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	1,094	1,094	89	<b>94</b>
	608		1,117	1,117	92	<b>97</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	2,383	2,383	145	<b>146</b>
	827		2,264	2,264	137	<b>138</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	2,552	2,552	166	<b>169</b>
	776,7		2,75	2,75	177	<b>180</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	1,248	1,248	70	<b>72</b>
	883,1		1,655	1,655	94	<b>96</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	9,344	9,344	556	<b>590</b>
	816,4		9,534	9,534	584	<b>621</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,20 mg/l.

#### Determinação do teor em arsénio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Arsénio (mg/kg)	Arsénio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	-0,0004	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
	707,9		0,0015	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0046	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
	762,1		0,0003	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	-0,0008	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
	588,8		0,0039	<0,03	<3	<b>&lt;3</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0052	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
	742,2		-0,003	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0161	<0,03	<2	<b>&lt;3</b>
	608		0,0118	<0,03	<2	<b>&lt;3</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,0492	0,0492	3	<b>3</b>
	827		0,0489	0,0489	3	<b>3</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,0481	0,0481	3	<b>3</b>
	776,7		0,0477	0,0477	3	<b>3</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,0062	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
	883,1		0,015	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,009	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>
	816,4		0,0054	<0,03	<2	<b>&lt;2</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,03 mg/l.

#### Determinação do teor em selénio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Selénio (mg/kg)	Selénio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,0329	0,0329	2	<b>2</b>
	707,9		0,031	0,031	2	<b>2</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0342	0,0342	2	<b>2</b>
	762,1		0,0325	0,0325	2	<b>2</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,0254	0,0254	2	<b>2</b>
	588,8		0,0304	0,0304	3	<b>3</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	-0,0031	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	742,2		-0,0033	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	-0,0027	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
	608		-0,0004	<0,02	<2	<b>&lt;2</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,0049	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	827		0,0029	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,001	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	776,7		-0,0044	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	-0,0102	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	883,1		-0,0141	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	-0,0102	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	816,4		-0,0156	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,02 mg/l.

### Determinação do teor em cádmio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Cádmio (mg/kg)	Cádmio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,0086	<0,02	<1	<1
	707,9		0,0083	<0,02	<1	<1
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0312	0,0312	2	<b>2</b>
	762,1		0,0256	0,0256	2	<b>2</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,0969	0,0969	8	<b>8</b>
	588,8		0,0696	0,0696	6	<b>6</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0155	<0,02	<1	<1
	742,2		0,028	0,028	2	<b>2</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0162	<0,02	<2	<2
	608		0,0128	<0,02	<2	<2
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,02	0,02	1	<b>1</b>
	827		0,0258	0,0258	2	<b>2</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,0261	0,0261	2	<b>2</b>
	776,7		0,03	0,03	2	<b>2</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,0249	0,0249	1	<b>1</b>
	883,1		0,0339	0,0339	2	<b>2</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,0114	<0,02	<1	<1
	816,4		0,0139	<0,02	<1	<1

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,02 mg/l.

### Determinação do teor em estanho (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Estanho (mg/kg)	Estanho (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,1558	0,1558	11	<b>12</b>
	707,9		0,1606	0,1606	11	<b>12</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,3889	0,3889	27	<b>28</b>
	762,1		0,3088	0,3088	20	<b>21</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,4288	0,4288	34	<b>36</b>
	588,8		0,3065	0,3065	26	<b>28</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,1354	0,1354	9	<b>10</b>
	742,2		0,1882	0,1882	13	<b>13</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,334	0,334	27	<b>29</b>
	608		0,3692	0,3692	30	<b>32</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,1182	0,1182	7	<b>7</b>
	827		0,1416	0,1416	9	<b>9</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,1067	0,1067	7	<b>7</b>
	776,7		0,1192	0,1192	8	<b>8</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,1498	0,1498	8	<b>9</b>
	883,1		0,2007	0,2007	11	<b>12</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,1486	0,1486	9	<b>9</b>
	816,4		0,1518	0,1518	9	<b>10</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,1 mg/l.

### Determinação do teor em antimónio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Antimónio (mg/kg)	Antimónio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,1357	<0,15	<11	<b>&lt;11</b>
	707,9		0,1673	0,1673	12	<b>12</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,2362	0,2362	16	<b>17</b>
	762,1		0,2632	0,2632	17	<b>18</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,2612	0,2612	20	<b>22</b>
	588,8		0,1605	0,1605	14	<b>14</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0923	<0,15	<10	<b>&lt;11</b>
	742,2		0,1837	0,1837	12	<b>13</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,1395	<0,15	<12	<b>&lt;13</b>
	608		0,1875	0,1875	15	<b>16</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,2057	0,2057	12	<b>13</b>
	827		0,2516	0,2516	15	<b>15</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,0848	<0,15	<10	<b>&lt;10</b>
	776,7		0,095	<0,15	<10	<b>&lt;10</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,3331	0,3331	19	<b>19</b>
	883,1		0,2894	0,2894	16	<b>17</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,6244	0,6244	37	<b>39</b>
	816,4		0,6373	0,6373	39	<b>41</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método, em 2008, é de 0,15 mg/l.

### Determinação do teor em bário (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Bário (mg/kg)	Bário (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	17,78	17,78	1252	<b>1323</b>
	707,9		16,34	16,34	1154	<b>1220</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	9,862	9,862	681	<b>705</b>
	762,1		6,624	6,624	435	<b>450</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	9,299	9,299	728	<b>773</b>
	588,8		9,219	9,219	783	<b>831</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	13,67	13,67	930	<b>961</b>
	742,2		10,8	10,8	728	<b>752</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	5,48	5,48	445	<b>472</b>
	608		5,708	5,708	469	<b>498</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	25,45	25,45	1545	<b>1562</b>
	827		26,42	26,42	1597	<b>1615</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	21,23	21,23	1381	<b>1408</b>
	776,7		17,76	17,76	1143	<b>1165</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	5,032	5,032	283	<b>290</b>
	883,1		5,403	5,403	306	<b>313</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	4,898	4,898	291	<b>309</b>
	816,4		4,454	4,454	273	<b>290</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método, em 2008, é de 0,51 mg/l.

### Determinação do teor em tálio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)-LD	Tálio (mg/kg)	Tálio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,0265	0,0265	2	<b>2</b>
	707,9		0,0374	0,0374	3	<b>3</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,0133	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	762,1		0,0144	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	0,0292	0,0292	2	<b>2</b>
	588,8		0,0272	0,0272	2	<b>2</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,0303	0,0303	2	<b>2</b>
	742,2		0,0257	0,0257	2	<b>2</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,0249	0,0249	2	<b>2</b>
	608		0,0216	0,0216	2	<b>2</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,0268	0,0268	2	<b>2</b>
	827		0,0357	0,0357	2	<b>2</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,013	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	776,7		0,0207	0,0207	1	<b>1</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,0304	0,0304	2	<b>2</b>
	883,1		0,033	0,033	2	<b>2</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,0092	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>
	816,4		-0,0006	<0,02	<1	<b>&lt;1</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,02 mg/l.

### Determinação do teor em chumbo (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Chumbo (mg/kg)	Chumbo (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	0,2421	0,2421	17	<b>18</b>
	707,9		0,2472	0,2472	17	<b>18</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	0,4544	0,4544	31	<b>33</b>
	762,1		0,3272	0,3272	21	<b>22</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	1,01	1,01	79	<b>84</b>
	588,8		0,8784	0,8784	75	<b>79</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	0,3976	0,3976	27	<b>28</b>
	742,2		0,5875	0,5875	40	<b>41</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	0,243	0,243	20	<b>21</b>
	608		0,151	0,151	12	<b>13</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	0,2774	0,2774	17	<b>17</b>
	827		0,3763	0,3763	23	<b>23</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	0,3242	0,3242	21	<b>22</b>
	776,7		0,3349	0,3349	22	<b>22</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	0,267	0,267	15	<b>15</b>
	883,1		0,3472	0,3472	20	<b>20</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	0,5242	0,5242	31	<b>33</b>
	816,4		0,3651	0,3651	22	<b>24</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,15 mg/l.



### Determinação do teor em potássio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Potássio (mg/kg)	Potássio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	17,39	17,39	1224	<b>1294</b>
	707,9		17,74	17,74	1253	<b>1325</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	20,54	20,54	1419	<b>1469</b>
	762,1		18,37	18,37	1205	<b>1248</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	23,07	23,07	1807	<b>1918</b>
	588,8		25,27	25,27	2146	<b>2278</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	19,29	19,29	1312	<b>1356</b>
	742,2		19,53	19,53	1316	<b>1359</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	12,51	12,51	1016	<b>1077</b>
	608		12,74	12,74	1048	<b>1111</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	19,69	19,69	1196	<b>1209</b>
	827		21,63	21,63	1308	<b>1322</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	22,23	22,23	1447	<b>1475</b>
	776,7		22,86	22,86	1472	<b>1500</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	21,38	21,38	1204	<b>1231</b>
	883,1		21,51	21,51	1218	<b>1245</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	4,588	4,588	273	<b>290</b>
	816,4		5,385	5,385	330	<b>350</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 1,7 mg/l.

### Determinação do teor em sódio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Sódio (mg/kg)	Sódio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	23,78	23,78	1674	<b>1770</b>
	707,9		25,86	25,86	1827	<b>1931</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	54,01	54,01	3732	<b>3863</b>
	762,1		67,76	67,76	4446	<b>4602</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	33,83	33,83	2650	<b>2813</b>
	588,8		38,55	38,55	3274	<b>3475</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	6,112	6,112	416	<b>430</b>
	742,2		5,77	5,77	389	<b>402</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	13,42	13,42	1090	<b>1156</b>
	608		13,56	13,56	1115	<b>1183</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	42,78	42,78	2597	<b>2626</b>
	827		48,94	48,94	2959	<b>2992</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	36,41	36,41	2369	<b>2415</b>
	776,7		35,51	35,51	2286	<b>2330</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	19,86	19,86	1118	<b>1143</b>
	883,1		20,09	20,09	1137	<b>1163</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	8,287	8,287	493	<b>524</b>
	816,4		9,321	9,321	571	<b>607</b>

m.s. - matéria seca

**Nota:** O limite de quantificação do método é de 0,63 mg/l.

### Determinação do teor em alumínio (2008)

Amostra/Data (dd-mm-aa)	massa resíduo (mg)	volume balão (ml)	concentração lida (mg/l)	Concentração efectiva obtida pela recta (mg/l)	Alumínio (mg/kg)	Alumínio (mg/kg m.s.)
04-06-08	710,1	<b>50</b>	58,21	58,21	4099	<b>4333</b>
	707,9		66,72	66,72	4713	<b>4982</b>
06-06-08	723,6	<b>50</b>	16,43	16,43	1135	<b>1175</b>
	762,1		30,12	30,12	1976	<b>2046</b>
09-06-08	638,3	<b>50</b>	62,6	62,6	4904	<b>5206</b>
	588,8		46,57	46,57	3955	<b>4198</b>
16-06-08	735	<b>50</b>	30,89	30,89	2101	<b>2171</b>
	742,2		53,18	53,18	3583	<b>3701</b>
24-06-08	615,6	<b>50</b>	14,34	14,34	1165	<b>1235</b>
	608		12,41	12,41	1021	<b>1082</b>
09-07-08	823,5	<b>50</b>	40,1	40,1	2435	<b>2462</b>
	827		48,65	48,65	2941	<b>2974</b>
11-07-08	768,4	<b>50</b>	33,33	33,33	2169	<b>2211</b>
	776,7		33,57	33,57	2161	<b>2203</b>
22-07-08	887,8	<b>50</b>	20,69	20,69	1165	<b>1191</b>
	883,1		20,5	20,5	1161	<b>1186</b>
24-07-08	840,9	<b>50</b>	11,32	11,32	673	<b>715</b>
	816,4		15,55	15,55	952	<b>1012</b>

m.s. - matéria seca

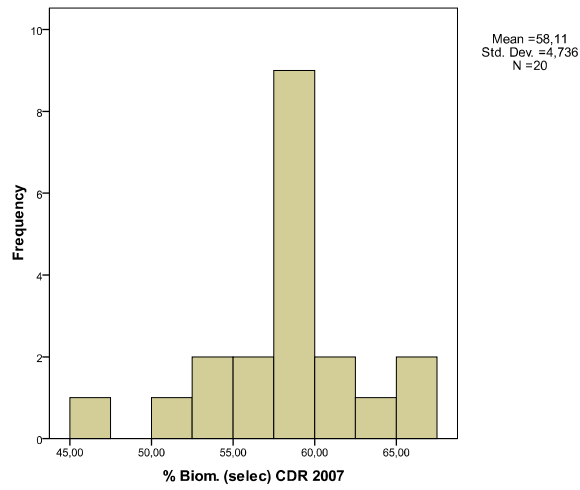
**Nota:** O limite de quantificação do método é de 2,0 mg/l.

---

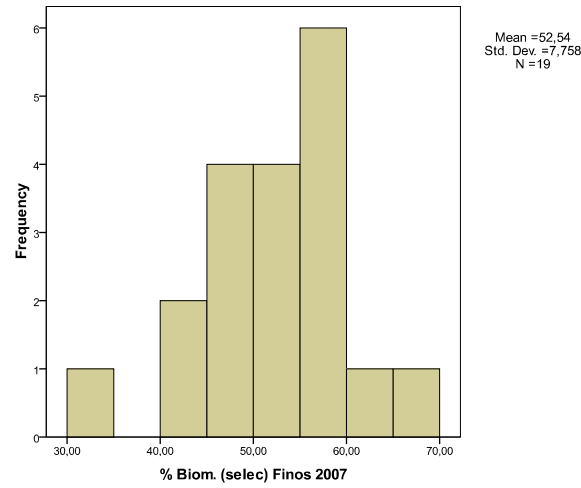
## **Apêndice X**

### Histogramas

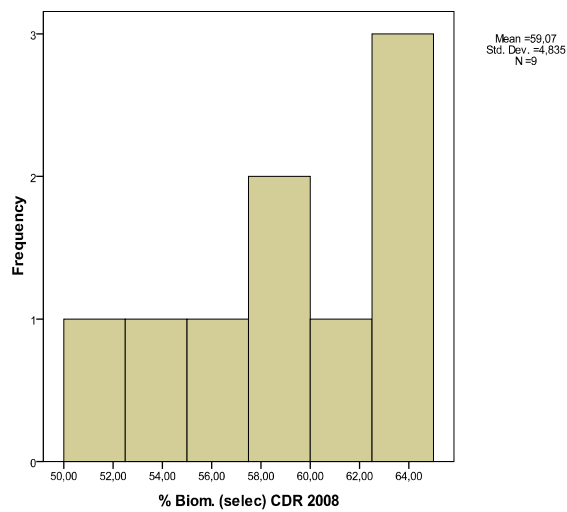
Teor em biomassa no CDR pelo método da dissolução selectiva – 2007



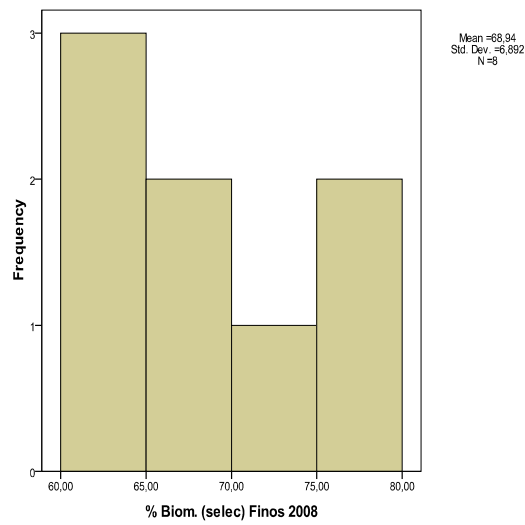
Teor em biomassa nos finos pelo método da dissolução selectiva – 2007



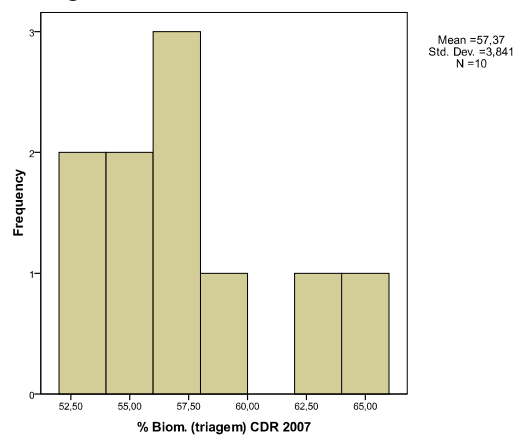
Teor em biomassa no CDR pelo método da dissolução selectiva - 2008



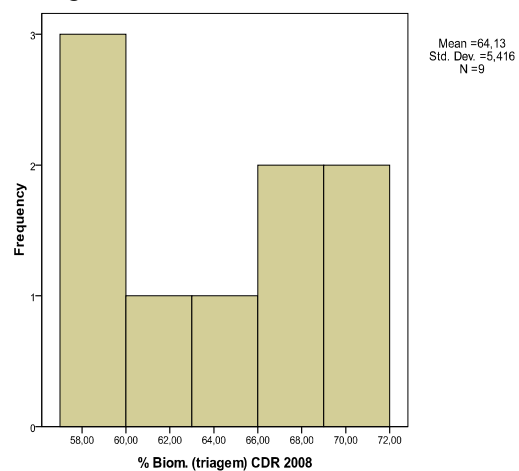
Teor em biomassa nos finos pelo método da dissolução selectiva -- 2008



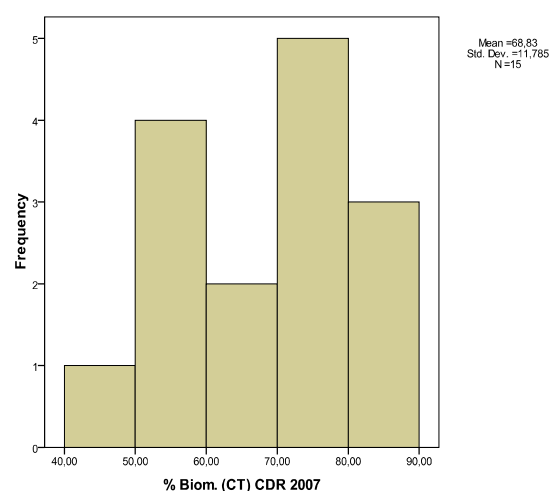
Teor em biomassa no CDR pelo método da triagem manual - 2007



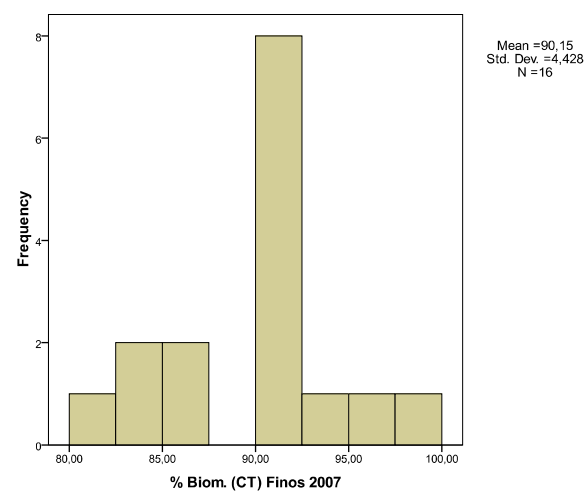
Teor em biomassa no CDR pelo método da triagem manual - 2008



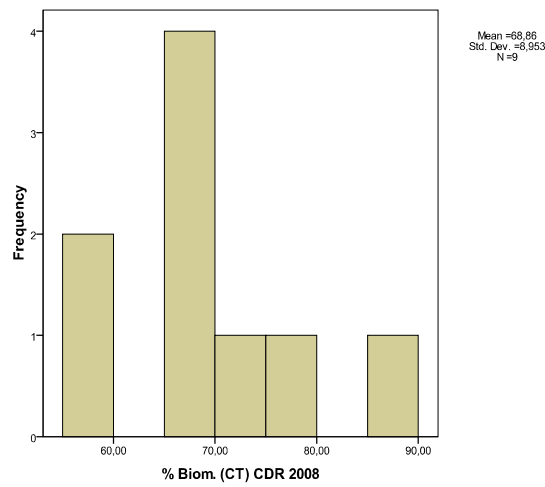
Teor em biomassa no CDR pelo método do carbono - 2007



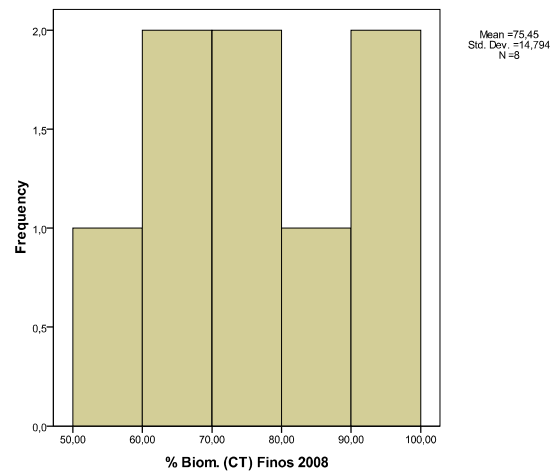
Teor em biomassa nos finos pelo método do carbono - 2007



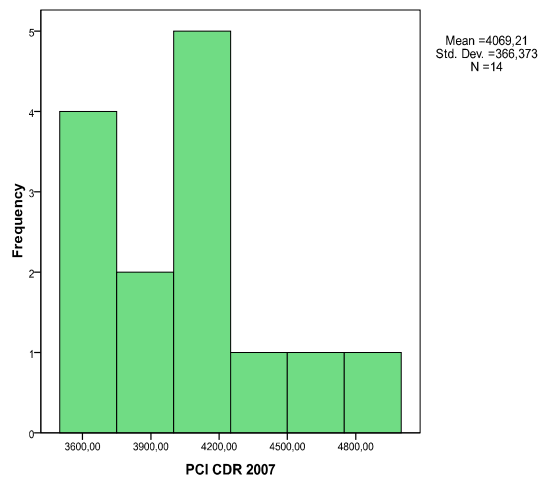
Teor em biomassa no CDR pelo método do carbono - 2008



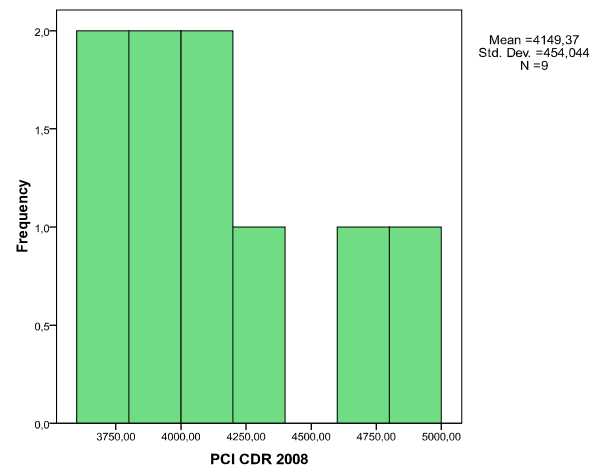
Teor em biomassa nos finos pelo método do carbono - 2008



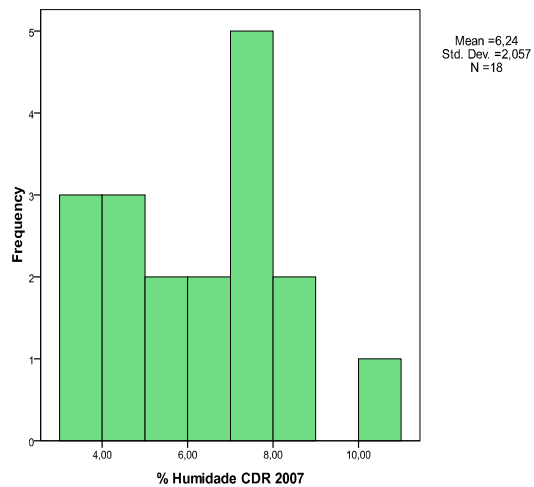
PCI no CDR - 2007



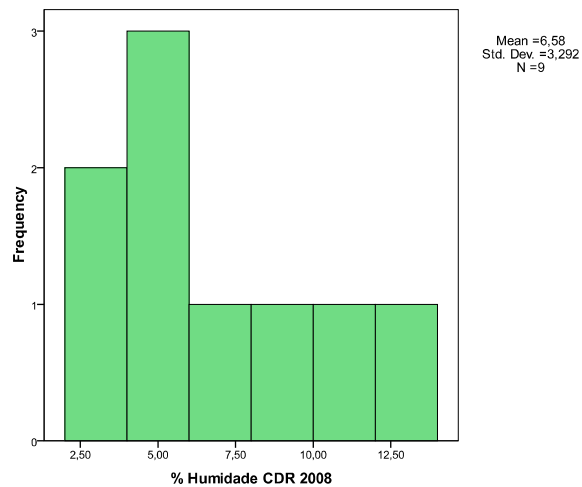
PCI no CDR - 2008



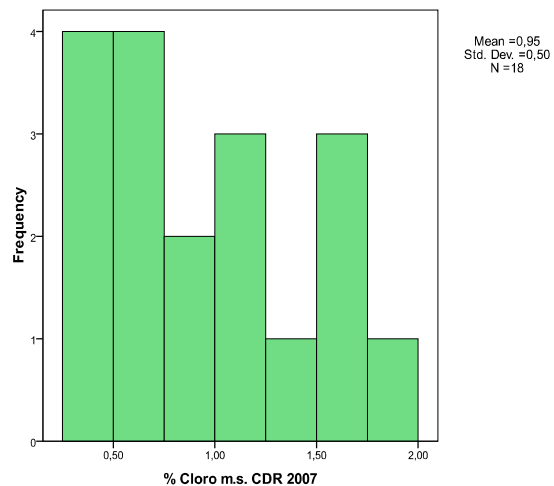
Teor em humidade - 2007



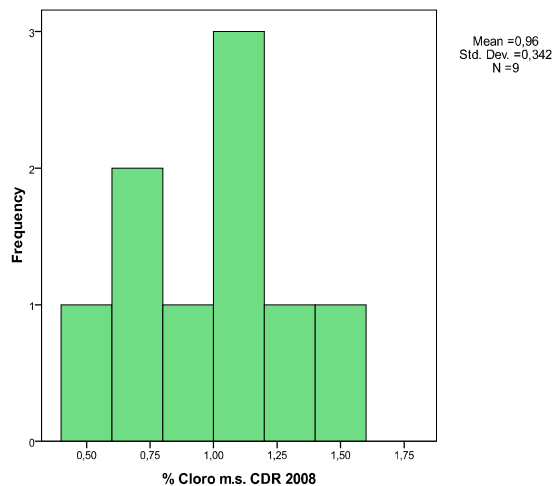
Teor em humidade – 2008



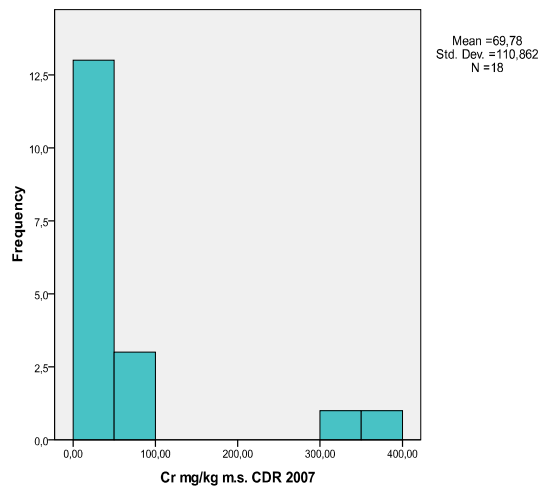
Teor em cloro - 2007



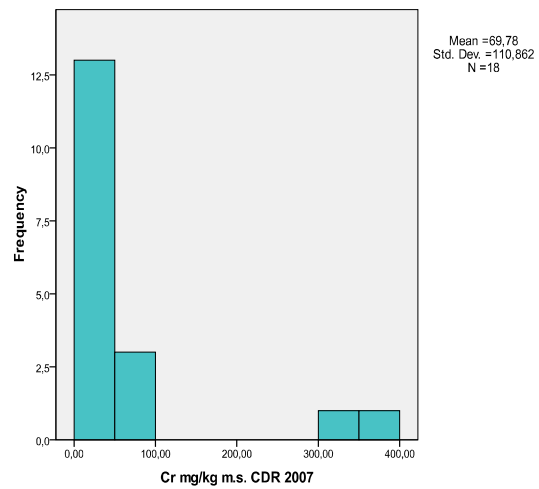
Teor em cloro – 2008



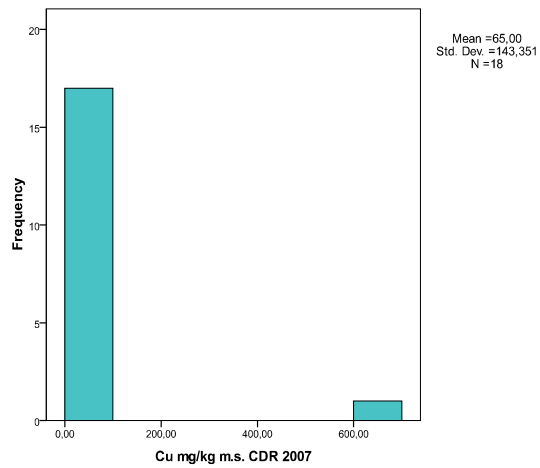
Teor em cromo - 2007



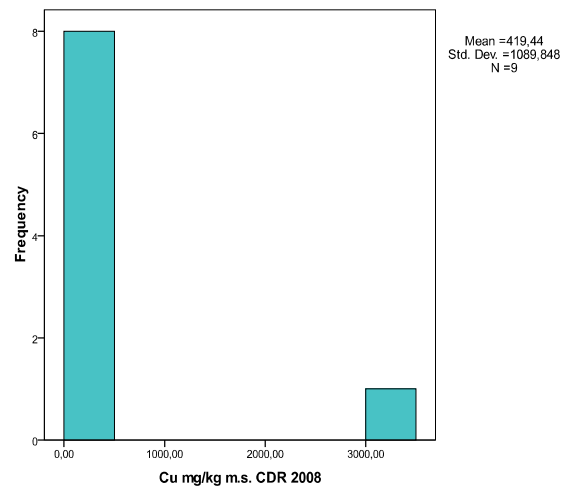
Teor em cromo - 2007



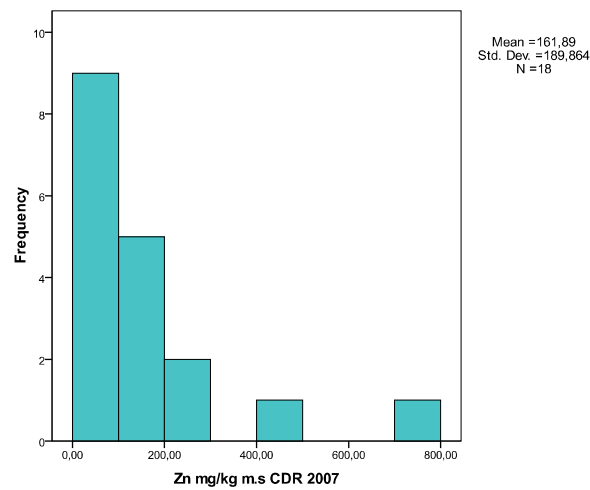
Teor em cobre - 2007



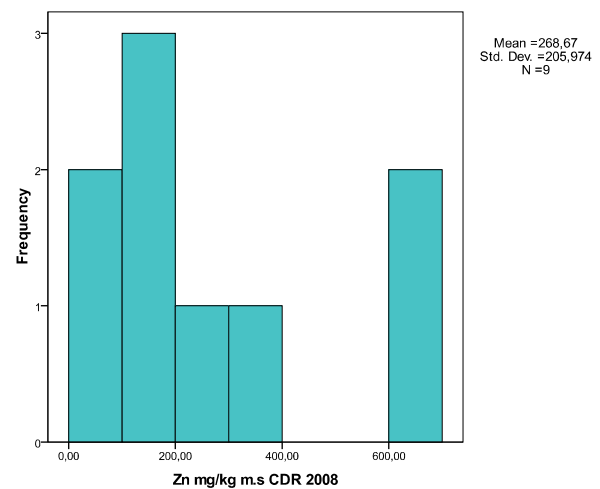
Teor em cobre - 2008



Teor em zinco - 2007

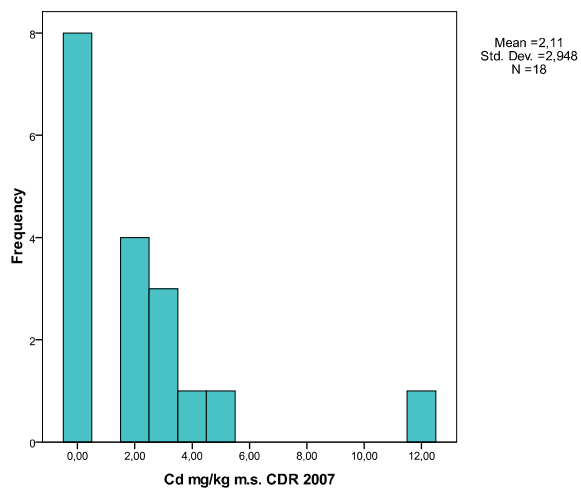


Teor em zinco - 2008

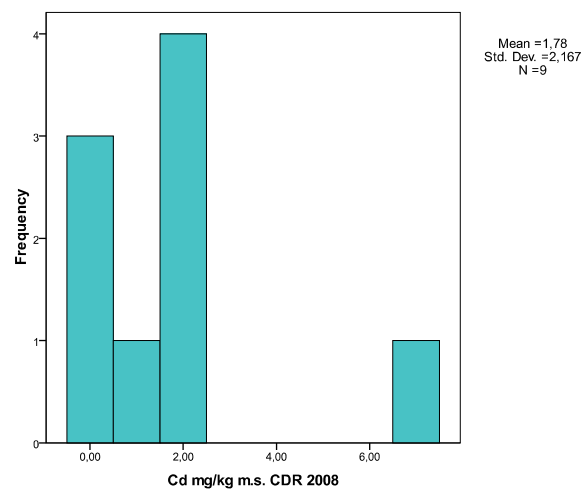




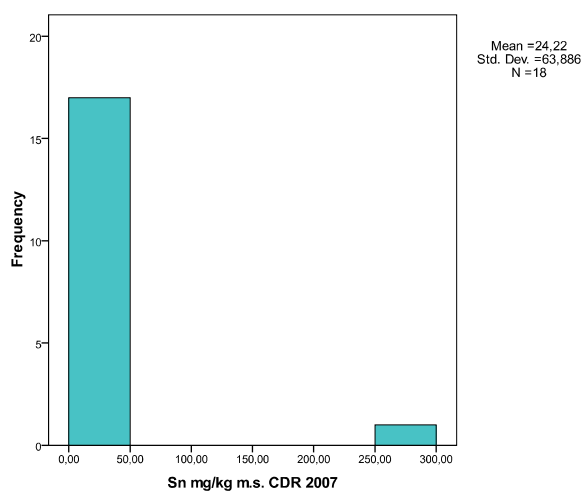
Teor em cádmio - 2007



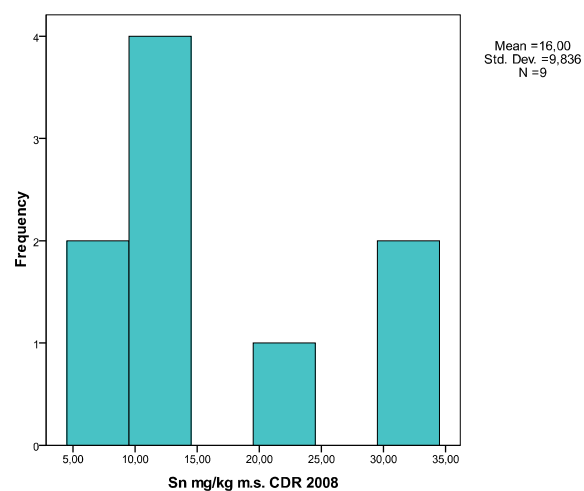
Teor em cádmio - 2008



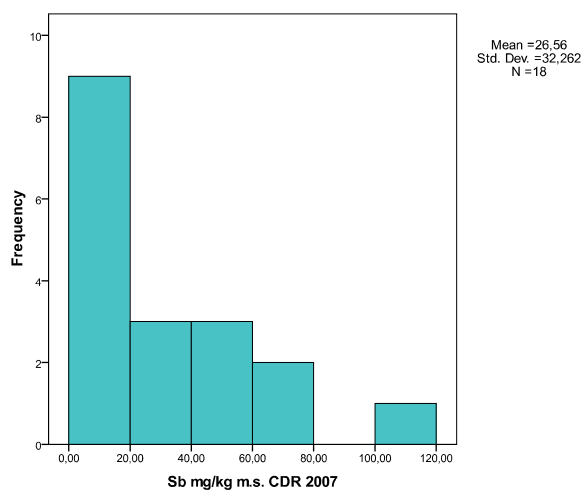
Teor em estanho - 2007



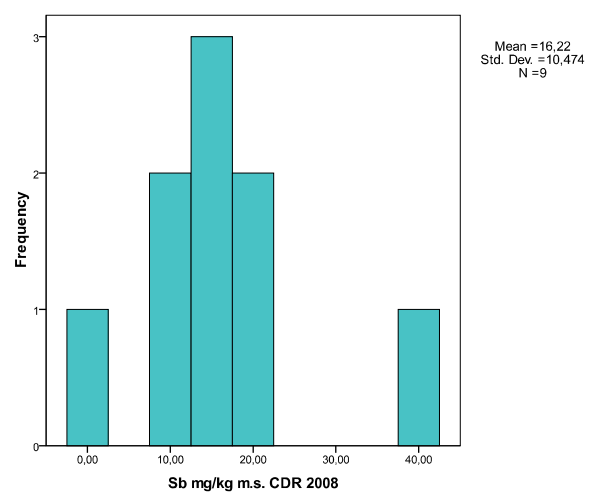
Teor em estanho - 2008



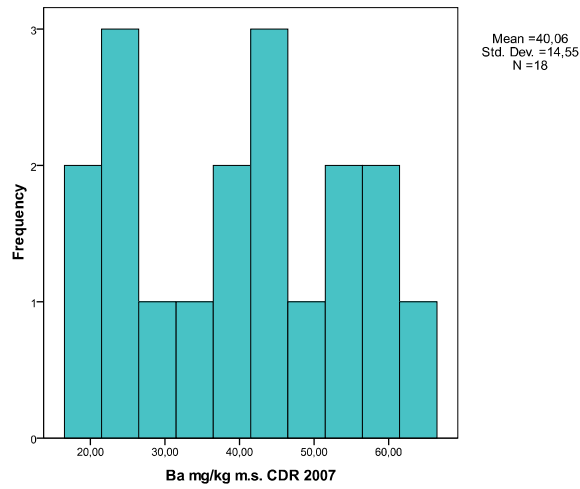
Teor em antimónio - 2007



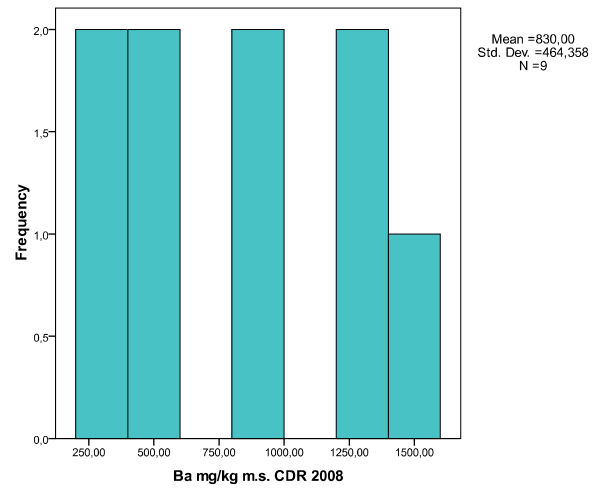
Teor em antimónio - 2008



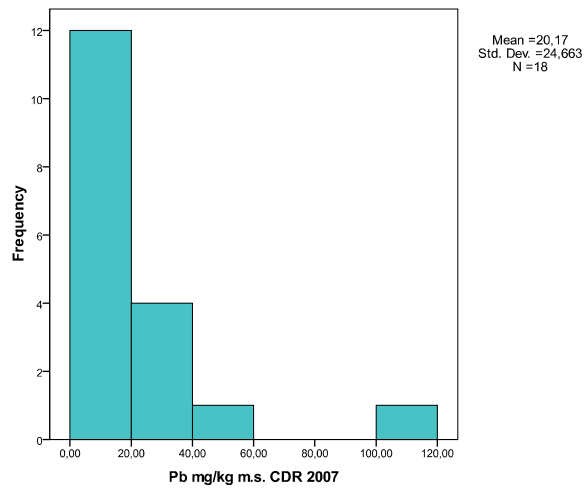
Teor em bário - 2007



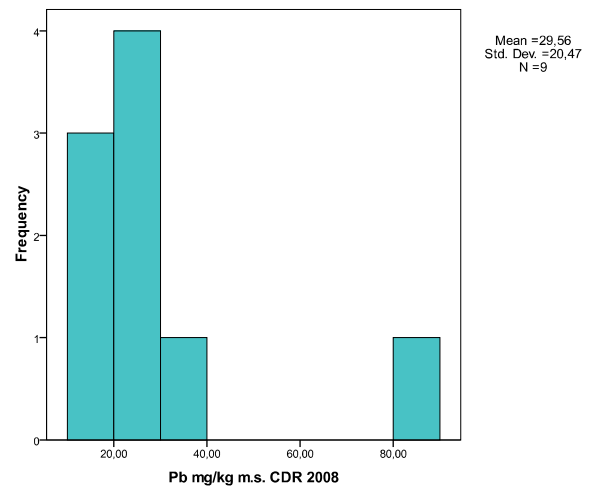
Teor em bário - 2008



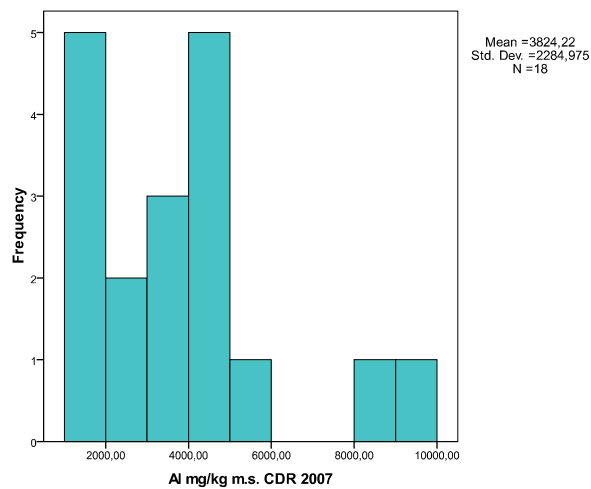
Teor em chumbo - 2007



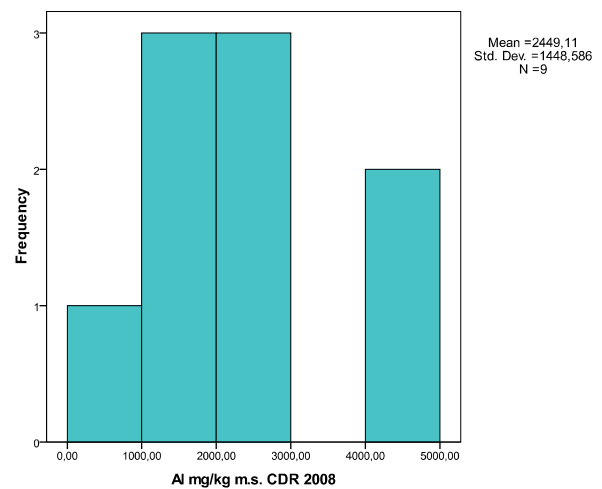
Teor em chumbo - 2008



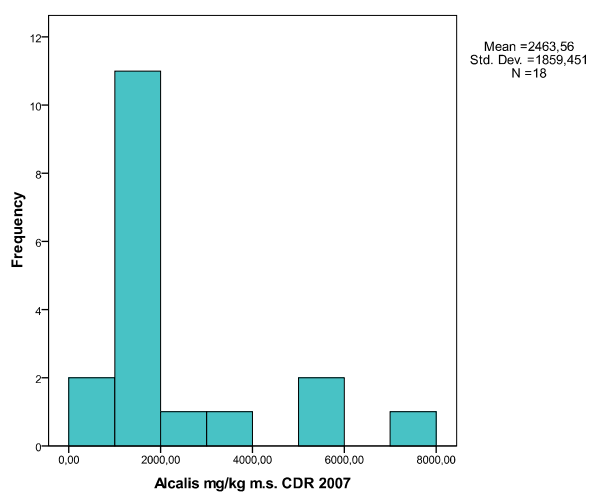
Teor em alumínio - 2007



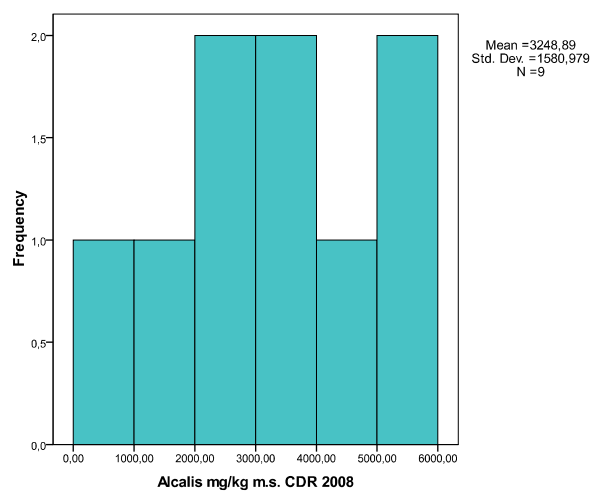
Teor em alumínio - 2008



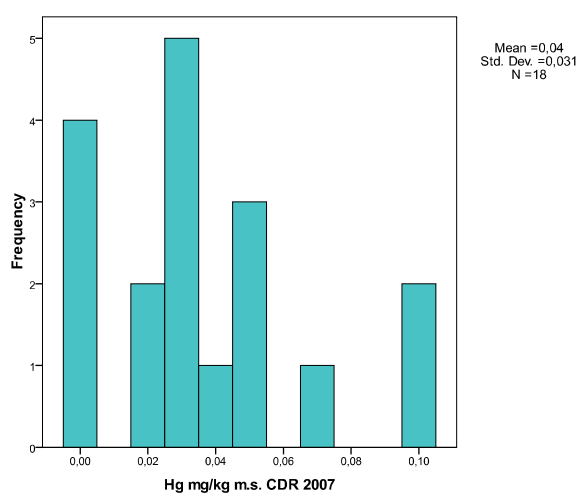
Teor em alcalis - 2007



Teor em alcalis - 2008



Teor em mercúrio - 2007



Teor em mercúrio - 2008

